
UNIVERSITY OF TORONTO
3 1761 01179240 5

The University of Toronto
Chemical Library

Presented
to
The University of Toronto Library
by
William Lash Miller, B.A., Ph.D., C.B.E.
Professor Emeritus of Physical Chemistry
for
A Departmental Library to be under
the control of the Professor of
Chemistry according to the conditions
set out in a letter from the Librarian
of the University dated March 21st
1938.

Grundriß
einer Entwicklungsgeschichte der chemischen Atomistik

zugleich

Einführung in das Studium der Geschichte der Chemie

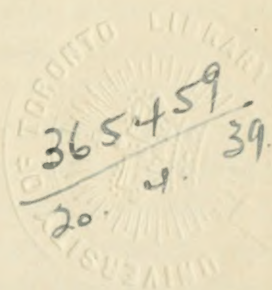
Von

Dr. Richard Ehrenfeld

Privatdozenten an der k. k. technischen Hochschule in Brünn

Mit vier Portraits





Heidelberg 1906
Carl Winter's Universitätsbuchhandlung

Verlags-Archiv No. 84.

„Aber der Forscher, der sich von seinen modernen Lehrbüchern zu den veralteten Abhandlungen der großen Denker der Vergangenheit wendet, gewinnt aus der Geschichte seiner Wissenschaft eine wahrere Anschauung von dem Verhältnis der Theorie zu den Tatsachen, er lernt aus dem Verlaufe ihres Wachstums zu jeder herrschenden Hypothese ihre raison d'être und ihre volle Bedeutung würdigen und verstehen, . . ."

TYLOR: Die Anfänge der Kultur.

„Daß man wahrhaft nur das kenne, was man, wenn auch nur im Geiste, werden sah, ist längst triviale Wahrheit. Gleichviel ob es um einen Organismus, ein Staatswesen, eine Sprache oder eine wissenschaftliche Lehre sich handle, die Entwicklungsgeschichte erschließt am besten Bedeutung und Zusammenhang der Dinge."

DU BOIS-REYMOND:
Über Geschichte der Wissenschaft. (1872).

Vorwort.

Der vorliegende Versuch einer Entwicklungsgeschichte der chemischen Atomistik ist von dem Bemühen des Verfassers geleitet, aus der umfassenden Arbeit, welche der menschliche Geist seit der Frühzeit seiner Entwicklung der Lösung des Stoffproblems zuwandte, jenen Teil zusammenzufassen, der in der Folge die Pflanzstätte für die DALTON'sche Atomistik wurde. Somit galt es, die Aufgabe durchzuführen, alle jene Elemente sowohl spekulativen, als erfahrungsmäßigen Inhaltes bloßzulegen, welche als Produkte einer mehr als zweitausendjährigen Entwicklung der schöpferischen Tat DALTON's richtunggebend waren, welche die Gestaltung des Bildes beeinflußten, wie es DALTON zu Anfang des vorigen Jahrhundertes vom Wesen der Stoffwelt zeichnete. Indem so die Fäden aufzufinden waren, welche die allmähliche Emporentwicklung der chemischen Atomistik mit der allgemeinen Entwicklung des Stoffproblems verbinden, mußten dem rein historischen Teile der vorliegenden Arbeit einige methodische Darlegungen über den logischen und psychologischen Ursprung der atomistischen Auffassung des Stoffes, sowie der mechanischen Erklärungsweise des Naturgeschehens in möglichster Kürze vorangestellt werden. Der historische Teil beginnt mit der Entwicklung der antiken Atomistik, wie sie das griechische Genie schuf; ihr folgt die knappe Schilderung der geistigen Übermacht aristotelischer Naturauffassung, wie sie sich dieser Atomistik entgegenwirft. Mit dem Auftauchen der Alchemie in den griechisch-alexandrinischen Kulturkreisen regen sich die ersten Keime zu einer

chemischen Stofflehre, welche ihren Untergrund in den empirischen Kenntnissen jener Zeiten findet und in ihrem charakteristischen Gepräge durch die Denkrichtung jener Zeiten gestaltet erscheint. Die Fortentwicklung dieser Stofflehre durch die arabische und die christliche Alchemie zu schildern, war das nächste Ziel, daran schließt sich die Überwindung alchemistischer Lehren durch die Wiedererweckung der antiken Atomistik im 17. Jahrhunderte, sowie die schließliche Ausbildung der Theorie DALTON's. Den Abschluß bildet eine Darlegung der Bemühungen zur Vereinfachung des DALTON'schen Atombegriffes, sowie die Hervorhebung jener Momente von tiefgehender Bedeutung für das Stoffproblem, wie sie durch die radioaktive Forschung unserer Tage gezeitigt worden sind. Auch die bedeutsamen erkenntnistheoretischen Untersuchungen FRANZ WALD's waren in den Rahmen der vorliegenden Arbeit einzubeziehen.

Das Eindringen in das geschichtliche Werden der chemischen Atomistik war somit in kurzen Worten das Ziel dieses Grundrisses, welcher, nach dem lebhaften Wunsche des Verfassers, einen bescheidenen Beitrag zur belebenden Anregung und Vertiefung des Studiums der Geschichte der Chemie unter den heranwachsenden Jüngern der Naturwissenschaft bilden möge.

Im Verlaufe seiner Studien zur Ausarbeitung des vorliegenden Buches hatte sich der Verfasser der liebenswürdigen und zuvorkommenden Unterstützung seitens der Bibliotheksverwaltung an der k. k. technischen Hochschule in Brünn zu erfreuen, daher er sich gedrängt fühlt, dem Skriptor Herrn Dr. F. BAUMHACKL, sowie dessen Assistenten Herrn Dr. F. FREUDE, an dieser Stelle seinen verbindlichsten Dank zu sagen.

Brünn, im Oktober 1905.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Die qualitative Elementenlehre, ihr logischer Grundfehler und ihre Überwindung durch die quantitative Elementenlehre.

Aristotelische Naturauffassung und Atomistik.

Das Wesen der Alchemie und das Stoffproblem innerhalb ihrer griechisch-alexandrinischen Phase.

Die Stofflehre der arabischen Alchemie und die Übermittlung dieser Lehre an die christlichen Länder.

Die Lehre von den drei Prinzipien: Mercurius, Sulfur und Sal. Die Anfänge korpuskular-mechanischer Auffassung chemischen Geschehens.



Einleitung.

Innerhalb des Gesamtbereiches menschlicher Geistesbetätigung fällt der Naturforschung die Aufgabe zu, die Pfade methodischer Erforschung in die unendliche Fülle der Naturerscheinungen zu bahnen. Denkoperationen elementarsten Wesens, wie Analyse und Synthese, sichten im ersten Stadium naturwissenschaftlicher Untersuchung das vorliegende Material, die Induktion, das logische Hauptinstrument der naturwissenschaftlichen Forschung jedweder Art, erschließt den Weg zur Höhe des Naturgesetzes, des allgemeinen Begriffes, der all das umschließt, was Gleichartiges an einer Reihe von Naturvorgängen sich kund gibt. Was bei der chemischen Vereinigung zweier Stoffe in steter Regelmäßigkeit wiederkehrt, die stöchiometrischen Grundgesetze umfassen es. Der neuen Tatsache, welche außerhalb der Peripherie des Naturgesetzes auftaucht, folgt unmittelbar die zwingende Frage auf dem Fuße: Mit welcher altvertrauten Tatsache ist diese scheinbar fremde verwandt, hat sie Merkmale gemein? Welches ist der allgemeine Begriff, dem sie unterzuordnen ist? Eine Naturerscheinung begreifen, sie wissenschaftlich erklären, heißt somit ihr Gesetz finden. In den Tatsachen entdecken wir das Gesetz, aus den Tatsachen tritt es uns als fremde Macht, als „Kraft" entgegen, ausgestattet mit der völligen Ausnahmslosigkeit ihrer Geltung durch das gesamte Naturbereich hin. Von einer chemischen Verwandtschaftskraft sprechen wir, von der Schwerkraft, von Kohäsions- und Adhäsionskräften u. s. f. Fern aller Willkür und Wahl bezwingt das Gesetz die Dinge der Natur mit unerbittlicher Notwendigkeit, die unserem eigenen Machtbereiche völlig entrückt ist.

Der geistig faßbare, lücken- und widerspruchslose Zusammenhang in der Auffassung des gesamten Naturgeschehens ist das Ideal der Naturwissenschaft. Die lose Aneinanderreihung der

Naturgesetze reicht an dieses Ideal nicht heran. Die wahrhaft wissenschaftliche Verknüpfung der Tatsachen gelingt erst mit Hülfe gewisser Voraussetzungen, welche zu den Tatsachen hinzugefügt werden, selbst aber in der Wirklichkeit nicht gegeben sind. Derartige hinzugedachte Voraussetzungen nennen wir Hypothesen. Die naturwissenschaftlichen Hypothesen sind somit spekulative, übersinnliche Gebilde, welche über die unseren Sinnen zugängliche Erfahrung hinausgehen, trotzdem aber eine sinnliche Anschauung der betreffenden Naturerscheinung uns zu geben bezwecken. So haben Avogadro und ebenso Ampère zu der von Gay-Lussac und von Humboldt gefundenen Tatsache, daß sich die gasförmigen Stoffe nach einfachen, rationalen Volumverhältnissen miteinander verbinden, die Annahme hinzugedacht: es seien in gleichen Raumteilen verschiedener gasförmiger Stoffe die gleiche Anzahl kleinster Teilchen vorhanden. Diese Annahme erwies sich jedoch nur in Verbindung mit der zweiten Annahme anwendungsfähig, daß die kleinsten Gasteilchen auch bei elementaren Stoffen noch zusammengesetzt seien und im allgemeinen aus mindestens je zwei chemischen Atomen bestünden. In dieser Form konnte die Avogadro-Ampère'sche Hypothese der Erklärung des Gay-Lussac'schen Volumgesetzes zugrunde gelegt und eine treffende, sinnliche Anschauung für die rationalen Volumverhältnisse wiedergegeben werden, welche der Verbindung verschiedener gasförmiger Stoffe entsprechen. Ohne Hypothese ist der Betrieb aller erklärenden Zweige der Naturwissenschaft undenkbar, ja die Chemie ist so vollends auf einer Hypothese aufgebaut, daß sie in ein unentwirrbares Chaos versinken müßte, wollte man ihr diese Grundlage plötzlich entziehen. Die Hypothese wird jedoch nicht nur zur Erklärung bestimmter Erscheinungen aufgestellt; es können umgekehrt aus der Hypothese bestimmte Erscheinungen abgeleitet, deduziert werden, und die Hypothese samt der Deduktion der Erscheinungen, zu deren Erklärung sie aufgestellt wurde, bilden die Theorie. Die Theorie setzt sich somit immer aus Hypothetischem und Tatsächlichem zusammen, sie verknüpft die Hypothese mit der Voraussage der Erscheinung, welche auf der Grundlage dieser Hypothese getroffen werden kann. So besteht Dalton's Hypothese in der Annahme einer atomistischen Konstitution des

Stoffes, seine Theorie besteht in der Deduktion der Verbindungsgesetze der Elemente auf Grund dieser Hypothese.

Über das Wesen der gewaltigsten Hypothese der Welt, der Hypothese von der atomistischen Konstitution des Stoffes, Kenntnisse durch Erfassung ihres logischen und psychologischen Ursprunges, sowie der großen Züge ihrer allmählichen Emporentwicklung zu schöpfen, ist das Ziel, dem die nächstfolgenden Blätter gewidmet sind. Auf der Grundlage dieser Kenntnisse möge sich die Schilderung des geschichtlichen Werdeganges der chemischen Atomistik, des Abkömmlings der umfassenden Hypothese, aufbauen.



Der Satz von der Erhaltung des Stoffes.

Im Gesamtgebiete des Naturgeschehens treten uns drei Gruppen von Erscheinungen entgegen. Im ersten Falle sind es Erscheinungen, welche, wie die Schwere, die Wärme, die Elektrizität u. s. w. an Körpern von verschiedenen stofflichen Eigenschaften in übereinstimmender Weise auftreten. Obzwar diese Erscheinungen in ihrem Verlaufe durch die stofflichen Unterschiede der Naturkörper beeinflußt werden können, schließt ihre Erklärung keinerlei Annahme über die spezifischen Stoffunterschiede in sich ein. Im zweiten Falle bieten sich unserer Beobachtung Erscheinungen dar, welche an die stofflichen Verschiedenheiten der Naturkörper eng gebunden sind, und schließlich bezeichnen wir eine besondere Gruppe von Naturerscheinungen als die Lebenserscheinungen. Die wissenschaftliche Bearbeitung dieses Gesamtgebietes würde der Physik im weitesten Sinne des Wortes, als der allgemeinen Naturlehre, zufallen. Jedoch umfaßt die heutige Physik bloß die Erscheinungen der ersten Gruppe, während die Untersuchung der zweiten Gruppe der Chemie anheimfällt und die Betrachtung der Lebenserscheinungen im Arbeitsgebiete der Biologie sich vollzieht.

Der Chemie fällt somit die Aufgabe zu, jene Erscheinungen zum Gegenstande ihres Studiums zu machen, welche mit den stofflichen Eigenschaften der Naturkörper im engsten Zusammenhange stehen. Mitten im bunten Wechsel des Naturgeschehens stehen die Elemente der Chemie unverändert da. Durch ihre verschiedenartige Gruppierung, durch ihre Anhäufung oder ihre Trennung entstehen Massen von verschiedenen Eigenschaften, entstehen die zahllosen Verbindungen, die zusammengesetzten Stoffe, aus denen wir die einfachen Stoffe, die Elemente, wieder zurückzugewinnen wissen. (Aus den Stoffen formen wir die Körper, indem wir den ersteren bestimmte Raumbegrenzung zuweisen.) So mannigfaltig und verwickelt auch die Prozesse sind, welche

zu neuen Stoffen hinführen, durch ihr Getriebe hindurch bleiben die Elemente ewig und unveränderlich. In erster Instanz wird somit die Chemie ihr Interesse den Eigenschaften der Elemente zuwenden, das heißt jener Stoffe, welche durch unsere Hülfsmittel nicht weiter zerlegbar sind. Des weiteren erwächst der Chemie das Studium jener Bedingungen, unter denen die Elemente zu Verbindungen zusammentreten, unter denen durch die gegenseitige Einwirkung von Verbindungen oder von Elementen und Verbindungen neue Stoffe entstehen, unter denen endlich die Verbindungen wiederum in ihre Elemente zerlegt werden. Parallel hiermit entsteht die Aufgabe, die physikalischen Erscheinungen, namentlich die thermischen und elektrischen festzustellen, welche die chemischen Prozesse begleiten. Auf diese Weise läßt sich die Gesamtaufgabe der Chemie in zwei Teile sondern: der eine strebt die Kenntnis der Stoffe und ihrer Verbindungen an, der andere findet in dem Studium der Verbindungs- und Zerlegungsprozesse und ihrer Begleiterscheinungen sein Ziel. Im System der chemischen Verbindungen ist der erste Teil, in der Theorie der chemischen Stoffbewegungen der zweite Teil dieser Gesamtaufgabe erfüllt.

Die Chemie ist auf dem Gedanken von einer fixen, unveränderlichen und unzerstörbaren Menge eines jeden Elementes im Universum aufgebaut worden. Dieser Gedanke findet seinen Ausdruck im Satze von der „Konstanz der Materie", nach einer anderen Ausdrucksweise: „Gesetz von der Unerschaffbarkeit und Unvernichtbarkeit der Materie" oder „Gesetz von der Erhaltung des Stoffes". Dem Chemiker gilt dieser Satz als Erfahrungssatz, da er seit dem Zeitalter quantitativer, chemischer Forschung seine ausnahmslose Stichhaltigkeit durch ungezählte Prozesse hindurch, ja selbst innerhalb der alltäglichsten Analyse bewiesen hat. Das Wesen und die Bedeutung dieses Satzes ist aber keineswegs mit seiner Aufstellung als eines innerhalb der Chemie experimentell beobachteten Naturgesetzes erschöpft. Überdies ist ja in unserer Zeit seine unbedingte Gültigkeit mit den feinsten Hülfsmitteln experimentell überprüft worden, wie wir späterhin sehen werden. Der Satz von der Konstanz der Materie, welche Bezeichnungsweise im folgenden beibehalten werden soll, ist ein Fundamentalsatz

aller Naturwissenschaft und erfordert als solcher eine über den Rahmen der Chemie hinaus sich erstreckende, tiefergehende Betrachtung, die vor allem den Ursprung dieses Satzes in den Anfangsstadien denkender Naturbeobachtung des Menschen und seine allmähliche gedankliche Entwicklung umfaßt. Sobald der menschliche Geist die Fesseln einer mythologischen Weltbetrachtung abwirft, da der rohe Naturmythus dem erwachenden Verstandesinteresse nicht mehr genügt, bilden sich die Anfänge einer rein philosophischen Betrachtung des Weltganzen, aus der nach langen Zeiträumen die Naturwissenschaften ihre Entstehung nehmen. Lange vor dem Erwerb exakter Einzelerkenntnisse macht die Naturphilosophie die Kräfte des erwachenden, menschlichen Geistes rege; alle Wissenschaft geht schließlich in letzter Linie aus der Philosophie hervor, so daß die Grundsätze der Naturwissenschaft in ihren rein begrifflichen, abstrakten Formen die Züge ihrer Abstammung aus der Philosophie deutlich an sich tragen. So ragen bereits aus der Fülle jener Gedankenwelt, welche uns die griechische Philosophie[1] in ihrer ältesten Epoche: der altjonischen Naturphilosophie, erschließt, zwei fruchtbare und bedeutungsvolle Gedanken hervor: das Dasein von Grundstoffen und die Unzerstörbarkeit des Stoffes, der im ewigen Kreislaufe nur zum Scheine zerstört wird, in Wahrheit aber unverwüstlich und der Verwandlung in das Nichts unfähig ist. Denn mit der fortschreitenden Emporentwicklung des Denkens forscht der kühne, hellenische Geist nach dem Beharrenden, das mitten im bunten Wechsel des Alls vorhanden sei. Bestimmte Naturerscheinungen regen seinen spekulativen Forschertrieb an. Sollten die einzelnen Wesen der Natur, sollte Pflanze und Tier, deren Lebenslauf sich so innig berührt, indem die Pflanze ihre Nahrung aus der Erde, dem Wasser und der Luft entnimmt, dem Tiere zur Nahrung dient, um schließlich gleich dem Tiere wieder in Erde, Wasser und Luft zu zerfallen, sollten beide Wesen sich völlig fremd sein, oder sollten sie vielmehr nur verschiedene Umformungen eines einzigen Urstoffes sein? Thales von Milet (640

[1] Vergleiche hierzu Zeller: Die Philosophie der Griechen, und Gomperz: Griechische Denker, sowie Baeumker: Das Problem der Materie in der griechischen Philosophie.

bis 550 v. Chr.), der „Ahnherr“ der griechischen Philosophie, bezeichnet mutmaßlich das Wasser, ANAXIMENES (gestorben zwischen 528 und 524) die Luft und HERAKLIT (um 504) das in Form der Lebenswärme alles beseelende, aber auch alles verzehrende Urfeuer als die ewige Substanz, durch deren wechselnde Umformungen alle anderen Dinge entstehen. Suchen die drei Genannten den Urstoff in der Reihe der von der Natur dargebotenen Objekte selbst, so eröffnet sich dem Tiefblicke ANAXIMANDROS' (geboren 610) die Einsicht, daß der Urstoff vielmehr hinter und jenseits der gegenwärtigen Formen des Stoffes, als im eigenen Kreise dieser Formen zu suchen sei. ANAXIMANDROS hegt bereits die Vorstellung von einem der sinnlichen Wahrnehmung nicht mehr zugänglichen Urwesen, des „Prinzips“, aus welchem durch „Aussonderung“ zunächst das Feste und das Feurige hervorgeht. In welcher Weise er die unendliche Fülle von Einzelstoffen aus seinem Urwesen hervorgegangen dachte, ist der Nachwelt nicht aufbewahrt geblieben.[2] Wir ersehen somit bereits im Kindesalter des menschlichen Geistes den Begriff eines beharrlich Seienden, einer absolut beharrenden Grundlage der Erscheinungen erwachen, es ist der Begriff der Substanz.[3] Von dem Begriff des Dinges, von der Vorstellung der Objekte der Außenwelt, schwingt die stetig sich entwickelnde Spekulation zum Begriffe der Substanz sich auf, als eines der sinnlichen Wahrnehmung sich entziehenden Substrates der Naturerscheinungen. Der Substanzbegriff ist somit durch die spekulative Tätigkeit des menschlichen Geistes in die Erfahrung hineingetragen worden, er bildet die metaphysische Ergänzung der Erfahrungsbegriffe, sein Entstehen setzt somit die logische Bearbeitung der Erfahrung voraus. Die

[2] PFITHMANN (Archiv f. Gesch. d. Philos. 1902 N. F. Bd. VIII) verficht die Meinung, daß höchstwahrscheinlich die ersten Philosophen die naive Anschauung vertraten, daß „Luft“ soviel ist wie garnichts, und daß der „unendliche Raum“ oder das „Blaue“ absolut leer ist. Wenn jene Denker also behaupten, die Welt und alle Einzelwesen entwickeln sich aus dem „unendlichen Raum“ oder aus der „Luft“, so meinten sie damit, sie entstehen aus dem „Nichts“. Im Lichte dieser Auffassung ist das erste Auftreten philosophischen Denkens äußerst naiv, es hat keine Ahnung von einer Substanz, aus welcher die Dinge zusammengesetzt sind, und in die sie sich wieder auflösen.

[3] Vgl. WUNDT: System der Philosophie.

Schilderung der Geistesarbeit, welche auf dem äußerst komplizierten Gange vom empirischen Dingbegriffe zum abstrakten Substanzbegriffe geleistet wurde, die Zergliederung dieser Arbeit in ihre vielfältigen Teile ist Sache philosophischer Systeme. Desgleichen die Erörterungen über die Bedeutung des logischen Hauptinstrumentes, dessen sich die Spekulation zur Bildung des Substanzbegriffes bediente: der rein begrifflichen Abstraktion, die aus dem Inhalte der Vorstellungen über die Naturobjekte so viel als möglich das Empirische, das Erfahrungsmäßige, zu beseitigen strebt, so beispielsweise das Veränderliche, das Wechselnde. Liegt uns auch die Betrachtung dieser rein philosophischen Themen ebenso ferne, wie die Schilderung der Entwicklung des Substanzbegriffes durch die Geschichte des menschlichen Denkens hindurch, so wollen wir doch keineswegs den äußerst wichtigen Umstand außer Acht lassen, daß die Naturwissenschaften mit der gleichen inneren Notwendigkeit wie die Philosophie zur Voraussetzung einer von den empirischen Gegenständen selbst verschiedenen Grundlage der Erscheinungen, dem Substanzbegriff der Erfahrungswissenschaften, gelenkt werden. War es in der Philosophie ein gewisses Einheitsbedürfnis der Vernunft, das Streben in der wechselnden Mannigfaltigkeit des Alls, den ruhenden Gedankenpol zu finden, das den Substanzbegriff schuf, so treibt in den Naturwissenschaften die gebieterische Forderung: die gegebenen Erfahrungen zu einem möglichst einfachen und widerspruchslosen Systeme zu verknüpfen, zu einem analogen Ziele hin. Da nun alle Wissenschaft aus der Philosophie hervorging, ja, wie wir vorhin betonten, selbst dem Erwerb von exakten Einzelerkenntnissen die philosophische Betrachtung des Weltganzen vorangeht, so finden auch die Naturwissenschaften die Voraussetzungen zur Bildung ihres Substanzbegriffes in der Philosophie vor. Die einzelne Erfahrungswissenschaft macht sich eine der Formen des philosophischen Substanzbegriffes zu eigen, indem sie ihn ihren speziellen Zwecken anpaßt. So erscheint es uns durch das historische Entwicklungsgesetz der Naturwissenschaften bedingt, daß die Substanzhypothesen der Chemie wie der Physik, die Idee von der Urmaterie wie die Ätherhypothese, noch heute im Gewande des philosophischen Substanzbegriffes einher-

schreiten, indem sie einen der sinnlichen Wahrnehmung nicht zugänglichen, metaphysischen Träger von Dingen voraussetzen, welche ihrerseits als chemische Elemente, als Licht oder neuerdings als Selbststrahlung (Radioaktivität) gewisser Stoffe[4] unsere Sinne beeinflussen.

Der naturwissenschaftliche Substanzbegriff wird des öfteren als Begriff der Materie bezeichnet, welch letztere Bezeichnungsweise sich eines Kunstausdruckes der aristotelischen Philosophie bedient. Die nähere Erläuterung des aristotelischen Begriffes von der „Materie", welche in einem späteren Zusammenhange erfolgen soll[5], wird zwar erweisen, daß der naturwissenschaftliche Substanzbegriff keineswegs mit jenem Begriffe von der „Materie" sich deckt, wie ihn ARISTOTELES schuf, jedoch hat sich der Ausdruck „Materie" so fest eingebürgert, daß er auch in unseren weiteren Darlegungen Verwendung finden soll. Indem nun die Chemie den Substanzbegriff aus der Philosophie übernahm, mußte ihr auch jener Satz zuteil werden, welcher die vorzüglichste Eigenschaft der Materie zum Ausdruck bringt: der Satz von der Konstanz der Materie. Wir erinnern uns, daß bereits in der altjonischen Naturphilosophie der Gedanke vom Dasein von Grundstoffen, gepaart mit der Idee von der Unzerstörbarkeit des Stoffes in Sicht tritt. Ursprünglich ist somit diese Grundregel der Chemie kein Erfahrungssatz, sondern ein bloßer hypothetischer Begriff, der zur Erklärung des Zusammenhanges der Erscheinungen unentbehrlich ist. Erst im Zeitalter quantitativer Forschungen hat sich diese Grundregel als ein mit aller experimentellen Erfahrung in Übereinstimmung stehendes Prinzip erwiesen, wodurch sie zum Erfahrungssatze wurde. Als namentlich die ausgezeichneten Forschungen LAVOISIER's ergeben hatten, daß bei allen Verbindungen und Zersetzungen der Stoffe, die Schwere der vorhandenen, weiter unzerlegbaren Bestandteile durch alle Prozesse hindurch unverändert bleibt, sowie daß sich aus den gleichen Stoffen stets die nämlichen Bestandteile mit übereinstimmenden Eigenschaften ausscheiden, formte die Chemie den Substanzbegriff ihren wissen-

[4] Siehe das Kapitel: Die Auffassung von der elektronischen Struktur des Stoffes. — [5] Siehe das Kapitel über PLATO's Theorie der Materie und die Elemententenlehre des ARISTOTELES.

schaftlichen Zwecken gemäß derart um, daß sie nun endgültig bei der Annahme von „stofflichen" Substanzen stehen blieb. Sie legte dem Zusammenhange ihrer Erscheinungen Stoffe zugrunde, welche in allen ihren wesentlichen Eigenschaften unveränderlich sind und durch ihre wechselnden Verbindungen miteinander Stoffe von verschiedenen Eigenschaften hervorbringen, es sind die Elemente.[6]

Reicht auch das Prinzip von der Konstanz der Materie mit seinen Wurzeln in die Anfangsstadien denkender Naturbetrachtung, so findet sich keineswegs das wissenschaftliche Bewußtsein aller Zeiten von diesem Fundamentalsatz aller modernen Naturwissenschaft durchdrungen. So sehen wir einen Teil der alchemistischen Bestrebungen auf die gegenteilige Annahme, der Erschaffung des Stoffes aus dem Nichts, begründet. Die „Diplosis", die Idee von der Verdopplung des Goldes oder des Silbers, deren Ursprung die Nacht vorgeschichtlicher Zeiten deckt, ist seit dem 2. und 3. Jahrhundert unserer Zeitrechnung innerhalb der griechisch-alexandrinischen Alchemie[7] rege. Im wirklichen Gold- oder Silbermetall sollte durch Zusatz einer mehr oder minder beträchtlichen Dosis eines weniger kostbaren Metalles eine Art fermentativer Vermehrung, dem Wachstum eines Lebewesens gleich, ausgelöst werden. Noch in den letzten Jahrhunderten der Alchemie spielt die gewichtsvermehrende Kraft des Steines der Weisen

[6] Operiert der Chemiker mit den chemischen Elementen als den letzten Schranken der Materie, welche er mit den Hülfsmitteln seiner Zeit nicht zu durchbrechen vermag, dann hat er sich über den Dingbegriff der gemeinen Erfahrung nicht erhoben. Anders steht die Sache, wenn er den Schritt vom „Element" zur „Verbindung" ausführt. Der Begriff der chemischen Verbindung zieht unmittelbar den Substanzbegriff nach sich, indem das eigentliche Substrat der Verbindung, etwa die Elemente Chlor und Natrium in der Verbindung Chlornatrium, sich der sinnlichen Wahrnehmung zwar entziehen, wir aber trotzdem genötigt sind, beide mit ihren unveränderlichen Eigenschaften in der Verbindung vorauszusetzen, da sie ja durch das geeignete Hilfsmittel unverändert zurückzugewinnen sind. Ähnlich schreitet der Chemiker vom Dingbegriff zum Substanzbegriff vor, wenn er die uns wohlbekannte Idee aus der altjonischen Naturphilosophie: das Vorhandensein einer Urmaterie im Weltall, aus welcher die unendliche Vielzahl der Stoffe hervorgegangen ist, auf seinen speziellen Fall: die Reihe der chemischen Elemente, überträgt. Den Elementen liegt dann ein unserer Erfahrung unzugängliches Substrat zu Grunde.

[7] Berthelot: Introduction à l'étude de la chimie des anciens et du moyenâge p. 56 und Les origines de l'alchimie p. 240.

eine hervorragende Rolle.[8] Mit dem Anbruch des Zeitalters moderner Naturforschung, als sich die quantitative Verfolgung der Naturerscheinungen durchringt und die Wage als das wichtigste Hülfsmittel hierbei in ihre Rechte tritt, finden wir in den Schriften HELMONT's, des geistvollen niederländischen Arztes und Naturforschers (1577—1644), die Beschreibung von Operationen, in deren Verlaufe Stoffe wie Gold, Blei, Kieselerde, nach wiederholten chemischen Änderungen mit unverändertem Gewicht zurückgewonnen werden konnten.[9] GASSENDI[10] (1592—1655), der Erneuerer der antiken Atomistik, spricht den Satz aus: „Aus nichts kann nichts geschaffen werden, und nichts kann in nichts verwandelt werden."[11] MARIOTTE (1620?—1684) tut den Ausspruch: „La nature ne fait rien de rien et la matière ne se perd point"[12], und in LAVOISIER's „Traité élémentaire de chimie"[13] (1789) finden sich im Zusammenhange mit seinen Gärungsversuchen folgende Sätze: „Denn nichts wird weder in den Operationen der Kunst noch in jenen der Natur erschaffen, und man kann als Grundsatz annehmen, daß in jeder Operation eine gleiche Menge Stoff vor und nach derselben vorhanden sei; daß die Eigenschaft und die Menge der Bestandteile eben dieselbe bleibe, und daß nur Abänderungen und Modifikationen entstehen." Die Reihe dieser Beispiele ließe sich noch vermehren. LAVOISIER ist denn auch von der Wahrheit des Satzes von der Erhaltung des Stoffes so tief durchdrungen, daß er ihn unwillkürlich zur Grundlage seiner berühmten Arbeit macht, welche der Widerlegung der von der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts an häufig auftauchenden Ansicht gewidmet ist, daß Wasser durch andauerndes Erhitzen und wiederholte Destillation in Glasgefäßen zu Erde sich umwandeln lasse. (Diese Ansicht wurzelt anscheinend in den häufigen Aussprüchen HELMONT's, in denen das Wasser allein als das Urelement erscheint.[14]) Während nun SCHEELE[15] (1742—1786) zu der näm-

[8] KOPP: Geschichte der Chemie, II, 175. — [9] KOPP, Beiträge zur Geschichte der Chemie, III. Stück, S. 154. — [10] Siehe Seite 41. — [11] LASSWITZ, Geschichte der Atomistik vom Mittelalter bis NEWTON, II, 145. — [12] Dieser Satz ist der erste seiner Maximes ou regles naturelles aux principes d'expérience. Essay de logique II. Oeuvres de Mr. MARIOTTE II, 656. — [13] System der antiphlogistischen Chemie, Deutsch v. HERMBSTÄDT, I. Teil, S. 180, 2. Ausg. Siehe auch Oeuvres de LAVOISIER I, 101. — [14] Näheres siehe in den Kapiteln über HELMONT's und über BOYLE's Lehren. — [15] DUMAS: Leçons sur la philosophie chimique, Deutsch v. RAMMELSBERG, S. 114.

lichen Zeit wie LAVOISIER die Unmöglichkeit dieser Umwandlung in der Weise dartut, daß er die beim andauernden Erhitzen von Wasser in Glasgefäßen auftretende Erde einer qualitativen Analyse unterwirft, und dadurch den Ursprung dieser Erde aus den Stoffen des Glases zu deuten vermag, geht LAVOISIER mit einer Wage, die er „äußerst empfindlich" nennt[16], und deren exaktem Funktionieren er die größte Sorgfalt zuwendet, an die Beurteilung des gleichen Problems. Es leuchtet ein, daß die Anwendung der Wage die Überzeugung von der Erhaltung des Stoffes durch alle Operationen hindurch zur Voraussetzung haben muß. LAVOISIER[17] richtet vor allem sein Augenmerk auf den Nachweis, daß beim Erhitzen von Wasser in einem dicht abgeschlossenen Glasgefäße durch einen Zeitraum von 101 Tagen das Gewicht des Ganzen keine Änderung erfährt, das Wasser jedoch für sich an Gewicht zunimmt, während das Glasgefäß einen Gewichtsverlust erleidet. Und selbst der Befund, daß die Zunahme des Wassers um drei Gran höher ist als die Abnahme des Glases, vermag LAVOISIER's kritischen Geist nicht zur Annahme der Entstehung von Stoff zu verleiten; LAVOISIER erklärt vielmehr dieses Plus als notwendigerweise durch die Art der Versuchsanordnung erzeugt. Nicht minder ist das in Rede stehende Prinzip Leitstern der zahlreichen Versuche LAVOISIER's[18] über die Zusammensetzung des Wassers. Zahlreich waren die betreffenden Versuche LAVOISIER's, denn — zur Steuer der geschichtlichen Wahrheit hat es die neueste Forschung[19] festgestellt — es gelang LAVOISIER keineswegs, zumindest in einem einzigen Versuche, (wie er selbst eitlerweise angibt) eine exakte Bestimmung der Gewichtsverhältnisse der sich vereinigenden gasförmigen Bestandteile des Wassers (brennbare Luft = Wasserstoff, Lebensluft = Sauerstoff), sowie des erhaltenen Wassers durchzuführen, da die Konstruktion seines Apparates hierzu nicht ausreichte. In der Abhandlung, welche den Beweis, daß Wasser kein einfacher Stoff sei, zum Gegenstande hat, findet sich folgender Satz: „Aber, da es sich in der Physik nicht

[16] Oeuvres II, 17. — [17] Oeuvres II, 20, ff.

[18] KOPP: Die Entdeckung der Zusammensetzung des Wassers. Beiträge III, 237.

[19] KAHLBAUM-HOFFMANN: „Über den Anteil LAVOISIER's an der Feststellung der das Wasser zusammensetzenden Gase". Monographien aus der Geschichte der Chemie. I. Heft, Nr. 2.

weniger als in der Geometrie bewahrheitet, daß das Ganze gleich ist seinen Teilen, so glauben wir uns mit Bezug darauf, daß wir in diesem Versuche nur reines Wasser ohne jeden anderen Rest erhalten haben, zu dem Schlusse berechtigt, daß das Gewicht dieses Wassers demjenigen der beiden Luftarten gleich sei, welche zur Bildung des Wassers dienten."[20] Die Abhandlung über die Kohlensäure enthält die Worte: „Kein Teil der Materie wird im Laufe der Versuche zunichte."[21] Schließlich muß es nur als Konsequenz der festen Überzeugung von der Konstanz des Stoffes durch alle chemischen Operationen hindurch erscheinen, wenn in den Schriften LAVOISIER's bereits die erste Idee zu den chemischen Gleichungen auftaucht. „In der Tat", sagt LAVOISIER, „kann ich die zusammengebrachten Stoffe und das erhaltene Resultat als eine algebraische Gleichung betrachten, und indem ich der Reihe nach jedes Element in dieser Gleichung als unbekannt setze, kann ich daraus einen Wert ziehen und so den Versuch durch den Kalkül und diesen durch den Versuch berichtigen. Ich habe diese Methode oft benutzt, um die ersten Resultate meiner Versuche zu korrigieren und die nötigen Vorsichtsmaßregeln bei ihrer Wiederholung zu erkennen."[22] Als gewichtiger Faktor tritt uns hierbei LAVOISIER's Ansicht über die Wärme entgegen, welche nach der Anschauung seiner Zeit stofflicher Natur ist. Einen Einfluß auf die Gewichtsverhältnisse chemischer Prozesse kann jedoch der Wärmestoff im Sinne LAVOISIER's nicht gewinnen, da dieser Stoff selbst des meßbaren Gewichtes entbehrt. Versuche LAVOISIER's[23] über die Verbrennung von Phosphor in geschlossenen Gefäßen, wobei Wärme frei wird, aber dennoch kein Gewichtsverlust stattfindet, sowie das Gefrieren von Wasser in geschlossenen Räumen, welches

[20] Oeuvres II 339. — [21] a. a. O. II 406. Den gleichen Gedanken drücken die Worte aus: „Es giebt in der Natur keinen eigentlichen Verlust", II, 368. — [22] DUMAS a. a. O. S. 139. Dieser Ausspruch findet sich in etwas veränderter Fassung auch bei BERTHELOT: La revolution chimique, LAVOISIER, p. 151 zitiert, jedoch wie bei DUMAS ohne näheren Quellenvermerk. Laut gütiger Privatmitteilung hat Herr BERTHELOT seinerzeit diesen Ausspruch einer der ursprünglichen Publikationen LAVOISIER's entnommen; es sei nicht zu vergessen, daß LAVOISIER oft eine und dieselbe Abhandlung in verschiedenen Fassungen zu publizieren pflegte. (Dem Verfasser war es nicht möglich, diesen oder einen ähnlich lautenden Ausspruch in den Oeuvres de LAVOISIER aufzufinden). — [23] Oeuvres II, 616.

desgleichen keinerlei Gewichtsverminderung nach sich zieht, beweisen die Gewichtslosigkeit des Wärmestoffes.

Leuchtet uns somit aus den Arbeiten des bahnbrechenden Genies der Epoche quantitativer, chemischer Forschung[24] der Satz von der Erhaltung des Stoffes als Erfahrungsaxiom entgegen, so fehlt es in den Tagen nach LAVOISIER keinesfalls an Versuchen, die zweifellose Gültigkeit dieses grundlegenden Satzes noch weiterhin empirisch zu begründen. So zersetzt SIMON[25] mit Hülfe einer voltaischen Säule mehrfach destilliertes Wasser und prüft mit aller Strenge, ob das Gewicht des erhaltenen Gasgemisches gleichen Schritt hält mit der Gewichtsabnahme des Wassers. Messungen des völlig trockenen Gasgemenges, sowie Wägungen der zurückbleibenden Wassersäule ergeben eine befriedigende Übereinstimmung.

---

[24] In der Arbeit über die Auflösung der Metalle in Säuren, Oeuvres, II, 515 ff., findet sich zum ersten Male (1782) die symbolische Beschreibung der quantitativen Verhältnisse eines chemischen Systems und deren Änderungen. Diese Beschreibung, in welcher sich die embryonalen Züge unserer heutigen chemischen Formeln und Gleichungen vorgezeichnet finden, ist die folgende:

$\left(a\ ♂\right) + \left(2\ a\ b\ ▽ + \frac{ab}{q} ▽\right) + \left(\frac{ab}{s} ⊕ + \frac{ab}{t} △^{+}\right)$ Hierbei bedeuten die Symbole

♂ . . . Eisen	a . . . . Menge des Eisens ab . . . . zur Lösung des Eisens nötige Menge an Säure; dieselbe setzt sich zusammen aus den Mengen:
▽ . . . Wasser	$\frac{ab}{q}$ . . . . an Wasser
⊕ . . oxydierendes Prinzip	$\frac{ab}{s}$ . . . . an oxydierendem Prinzip
△+ . . salpetrige Luft (das heutige Stickstoffdioxyd	$\frac{ab}{t}$ . . . . an salpetriger Luft.

Damit das Auflösen nicht zu stürmisch vor sich gehe, muß die Säure mit zwei Teilen Wasser verdünnt werden. Sobald die lösende Einwirkung auftritt, entzieht das Metall der Säure die Menge $\frac{a}{p}$ an oxydierendem Prinzip, die es zur eigenen Sättigung bedarf, daher:

$\left(a\ ♂ + \frac{a}{p} ⊕\right) + \left(2\ a\ b\ ▽ + \frac{ab}{q} ▽\right) + \left(\frac{ab}{s} ⊕ - \frac{a}{p} ⊕ + \frac{ab}{t} △^{+}\right)$

u. s. f. Schließlich werden für die Buchstaben besondere Zahlen eingesetzt. (Über den Satz von der Erhaltung des Stoffes in LAVOISIER's Werken siehe auch: BERTHELOT: La révolution chimique, LAVOISIER. S. 150 ff.)

[25] GILBERT's Annal. d. Physik X, 1802, S. 282.

In unserer Zeit hat LANDOLT[26] Untersuchungen über etwaige Änderungen des Gesamtgewichtes chemisch sich umsetzender Stoffe nach den exaktesten Methoden sowie unter Verwendung von Instrumenten durchgeführt, deren Leistungsfähigkeit bis an die Grenze des zurzeit Erreichbaren getrieben war. Betreffen auch die leitenden Ideen der LANDOLT'schen Untersuchungen nicht direkt die experimentelle Begründung des Satzes von der Erhaltung des Stoffes, so sind diese Untersuchungen doch im gewissen Sinne eine indirekte Überprüfung dieses Satzes, und mögen daher im Zusammenhange mit Untersuchungen analogen Charakters eine kurze Darlegung finden.

An erster Stelle sei an die klassischen Versuche erinnert, welche J. S. STAS zur experimentellen Ermittlung der Genauigkeit der stöchiometrischen Grundgesetze durchgeführt hat[27], resp. an die klassischen Atomgewichtsbestimmungen desselben Forschers. Aus der Zahl seiner Versuche seien nur diejenigen hervorgehoben, welche eine genaue experimentelle Prüfung der Frage betreffen, bis zu welcher Grenze das Gewicht einer chemischen Verbindung mit der Summe der Gewichte ihrer Komponenten übereinstimme. STAS hat die Synthese des Brom- und des Jodsilbers ausgeführt, wobei sowohl das Gewicht der Komponenten als auch das der resultierenden Verbindung zur Bestimmung gelangte. In beiden Fällen ergab sich das Gewicht der synthetisch dargestellten Verbindung kleiner als die Summe der Komponenten, und zwar betrug die Differenz $^1/_{20\cdot000}$ bis $^1/_{72.000}$ der Gesamtmasse, im Mittel aus fünf Versuchen $^1/_{40.000}$. Die von STAS angewandten komplizierten Operationen bergen jedoch immerhin Fehlerquellen in sich, so daß diese Differenzen genügend Aufklärung finden. So wurde vorerst das Silber in Silbersulfat, das Jod in Jodwasserstoffsäure überführt und durch Vermischen der Lösungen beider Stoffe das Jodsilber gefällt, das nun seinerseits durch Dekantation mittels Wasser gereinigt wurde. Desgleichen birgt die zweite Synthese die Schwierigkeit in sich, das Brom-

[26] Zeitschr. f. physikal. Chem. $^{12}{}_1$ und Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft $^{26}/_{1820}$. — [27] Nouv. Recherches sur les lois des proportions chimiques 1865. Untersuchungen über die Gesetze der chemischen Proportionen. Deutsch von ARONSTEIN 1867.

silber ohne Verlust zu sammeln, sowie auch das Brom absolut wasserfrei darzustellen. Den beiden Synthesen sei der Versuch an die Seite gestellt, welcher in der Zersetzung des Silberjodates in Jodsilber und Sauerstoff besteht, wobei der letztere durch eine gewogene Menge erhitzten Kupfers zur Absorption gelangte. In einem Falle war das Gewicht der Summe: Jodsilber + Sauerstoff um $^1/_{78.000}$ geringer als das Gewicht der angewandten Gesamtmenge an Silberjodat, im zweiten um $^1/_{70.000}$ größer als das Gewicht der Gesamtmenge an Silberjodat. Die Abweichungen sind in diesem Falle somit noch kleiner als innerhalb der Synthesen; außerdem das eine Mal negativ, das zweitemal positiv.

Von anderen Gesichtspunkten als STAS geleitet, hat KREICHGAUER im Jahre 1891 Versuche zur Veröffentlichung gebracht[28], welche durch Verhütung aller Fehler, deren Ursprung in den Unvollkommenheiten chemischer Operationen gelegen sein kann, besonders gekennzeichnet sind. In erster Reihe wurden zwei Glasgefäße A und B mit Quecksilber und Brom in der Weise beschickt, daß beide Stoffe von einander getrennt lagen, die Gefäße zugeschmolzen und die Gewichtsdifferenz A—B nach den Methoden der Präzisionswägung bestimmt. Hierauf wurden in dem Gefäße A die beiden Stoffe zur Reaktion gebracht und neuerlich die Differenz A—B festgelegt. Das gleiche geschieht im Gefäße B unter Wiederholung der Gewichtsbestimmung von A—B. In zweiter Reihe wurde die gleiche Gesamtprozedur unter Verwendung von Quecksilber und Jod durchgeführt. An diese Versuche schloß sich ein dritter, der mittels Natriumazetat (flüssig als übersättigte Lösung und erstarrt) zur Durchführung gelangte. Aus den Resultaten sei folgender Auszug angeführt:

I. Quecksilber und Brom (160 gr).

Vor der Vereinigung	Nach der Vereinigung	
A—B	in Gefäß A	in Gefäß B
Mittel: 9·310 mgr	A—B	A—B
	Mittel: 9·313 mgr	Mittel: 9·336 mgr
	,, : 9·344 ,,	

[28] Verhandlungen der physikalischen Gesellschaft zu Berlin. Jahrgang 10, Nr. 2, S. 13.

II. Quecksilber und Jod (etwa 170 gr).

Vor der Vereinigung	Nach der Vereinigung im Gefäße B.	
A—B	A—B	In der zugehörigen Reihe wurde in vier Fällen das Gefäß B auf 100° erwärmt und das eine Mal beide Gefäße mit einem Tuche abgestaubt.
Mittel: 1·470 mgr	Mittel: 1·467 mgr	

Kreichgauer zieht aus diesen Versuchen den Schluß, „daß bei den verwendeten Körpern eine Änderung durch die Anziehung der Erde infolge chemischer Kräfte unterhalb $^1/_{20.000.000}$ der ganzen Anziehung bleiben müßte."

Landolt's Untersuchungen sind von der Idee angeregt, daß die Differenzen zwischen den Atomgewichten gewisser Elemente und den nächstliegenden ganzen Zahlen in den Fällen von Chlor (35·364), Brom (79·763), Jod (126·557), Silber (107·668), Platin (194·34) sehr erhebliche sind, in anderen Fällen, wie Lithium (7·012), Kohlenstoff (11·973), Stickstoff (14·006), Natrium (22·995), Schwefel (31·983), Kalium (39·038) zwar nur sehr gering sind, trotzdem aber die Versuchsfehler der Atomgewichtsbestimmungen übersteigen, indem letztere höchstens ± 0·004 betragen. Gilt zwar die alte Prout'sche Hypothese, nach welcher die Atomgewichte aller Elemente als ganze Vielfache des Wasserstoffatomgewichtes aufzufassen sind durch die Arbeiten von Stas und Marignac, sowie durch manche neuere Atomgewichtsbestimmungen als vollständig widerlegt, so sind doch die durch Analyse oder Synthese ermittelten Werte für die Atomgewichte stets mit Dezimalen behaftet, zu deren Streichung jede Berechtigung fehlt, so daß sich die Frage aufwerfen läßt, ob nicht Ursachen vorhanden sein könnten, welche die Abweichung von ganzen Zahlen hervorbringen. Marignac[29] hatte 1865 die Möglichkeit sekundärer Ursachen, welche leichte Störungen in die einfachen Verhältnisse aller Atomgewichte bringen, nicht ausgeschlossen. Lothar Meyer gibt in seinen „Modernen Theorien der Chemie"[30] dem Gedanken Spielraum, daß die Atome aller oder vieler Elemente doch der Hauptsache nach aus kleineren Elementarteilchen einer ein-

[29] Liebig's Annal. Suppl. Bd. IV, 206.
[30] 2. Aufl. (1872) S. 293, 5. Aufl. (1884) S. 135.

zigen Urmaterie, vielleicht des Wasserstoffes, bestehen, daß aber ihre Gewichte darum nicht als genaue Vielfache von einander erscheinen, weil außer den Teilchen dieser Urmaterie etwa noch größere oder geringere Mengen der vielleicht nicht ganz gewichtslosen, den Weltraum erfüllenden Materie, welche wir als Lichtäther zu bezeichnen pflegen, in die Zusammensetzung der Atome eingehen.

An Stelle einer chemischen Bindung des Äthers hat der Botaniker C. v. Nägeli in seiner Schrift: „Kräfte und Gestaltungen im molekularen Gebiet“[31] die Vorstellung von einer Umhüllung der Atome durch eine Schicht äußerst stark verdichteten und dadurch wägbaren Äthers entwickelt. Die Urmaterie besteht aus kleinsten Teilchen, den sogenannten Ameren, deren Anhäufungen in einer Billionen betragenden, ungeheuren Zahl die Atome der chemischen Elemente bilden. Agglomerationen von weit geringerer Dichtigkeit erscheinen als sogenannter Schweräther oder wägbarer Äther, welcher die Atome als Hülle umgibt. In weiterer Entfernung von den Atomen geht der wägbare Äther in den sogenannten Zwischenhülläther über, welcher die Moleküle des Elementes umgibt und den Durchgang des Lichtes vermittelt.

Wären die Nägeli'schen Anschauungen zutreffend, dann müßte an der Gewichtsveränderung, welche durch Substitution eines Elementes im Molekül einer Verbindung durch ein zweites hervorgerufen wird, auch die unveränderte Menge des wägbaren Äthers ihren Anteil haben. Somit könnte der Fall eintreten, daß bei sehr genauer Wägung das Gesamtgewicht zweier Körper vor und nach ihrer chemischen Umsetzung nicht völlig gleich gefunden wird, indem eine gewisse Menge ponderablen Äthers aus- oder eingetreten ist. Und das gleiche wäre denkbar, wenn der Äther von den Atomen chemisch aufgenommen würde. Die Möglichkeit, in einem Körper den Äther zu wägen, welcher der Lichtschwingungen fähig ist, muß völlig ausgeschlossen werden. Nach Fresnel beträgt seine Dichte $D = n^2 d$, wobei n der Brechungsindex der Substanz und d die Dichtigkeit des Äthers im freien Raume bedeutet. Wird für letztere nach Grätz[32] an-

---

[31] Zuerst erschienen als Anhang zu Nägeli's „Mechanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre“ 1884. — [32] Wiedemann's Ann. 25/165.

genähert der Wert 10^{-17} angesetzt, bezogen auf Wasser = 1, dann läßt sich für Schwefelkohlenstoff mit dem mittleren Brechungsexponenten n = 1·628 und dem spezifischen Gewichte 1·263 das Gewicht der in einer Million Kubikmeter dieser Flüssigkeit befindlichen Äthermenge zu 0·0266 mg berechnen, oder daß 50000 Millionen Kilogramm Schwefelkohlenstoff 1·3 mg Äther enthalten.

Eine Änderung in dem Gesamtgewichte zweier Körper vor und nach ihrer chemischen Umsetzung hätte überdies vermutungsweise zur Ursache, daß die Schwere nicht auf alle Stoffe mit völlig gleicher Intensität wirkt. Im Jahre 1833 bereits hatte Bessel[33] durch Pendelversuche mittels verschiedener Metalle sowie Mineralien festgestellt, daß der fragliche Unterschied kleiner sein muß als $^1/_{60.000}$ der gemessenen Größe (Länge des Sekundenpendels). Durch neuere, von Eötvös[34] mittels Torsionswagen ausgeführte Versuche ist diese Grenze indes viel weiter hinausgerückt worden. Die Versuche Eötvös' ergaben, daß, im Falle eine Differenz in der Schwere der Körper von gleicher Masse, aber verschiedener Substanz überhaupt vorhanden sei, diese Differenz zwischen Luft und Messing weniger als $^1/_{100.000}$, und hinsichtlich Messing, Glas, Antimonit und Korkholz weniger als $^1/_{20.000.000}$ betrage. Auf das Gewicht eines Kilogramms bezogen, würde die erste Zahl dem Unterschiede von 10 mg, die zweite einem solchen von 0·05 mg entsprechen.

Eine Differenz in dem Gesamtgewichte zweier Stoffe vor und nach ihrer chemischen Umsetzung, die in einem hermetisch gegeschlossenen Gefäße verläuft, wäre somit auf eine verschiedene Wirkung der Schwere unter der Voraussetzung zurückzuführen, daß die Gesamtmasse der Stoffe völlig gleich geblieben sei. Wirkt dagegen die Gravitation auf alle Körper absolut übereinstimmend, dann hätte der Gewichtsunterschied eine Zu- oder Abnahme der Masse zur Ursache, die ihrerseits wiederum nur unter der Voraussetzung der Existenz eines wägbaren Äthers denkbar wäre, der durch die Wandung des Gefäßes Durchtritt besäße. Die letztere

[33] Versuche über die Kraft, mit welcher die Erde Körper von verschiedener Beschaffenheit anzieht. Schuhmacher's astronomische Nachrichten 10,97.

[34] Über die Anziehung der Erde auf verschiedene Substanzen. Math. und naturw. Berichte aus Ungarn. 8/65 1891.

Erklärungsweise würde in jenen Fällen die größere Wahrscheinlichkeit für sich haben, wo die Versuche ergeben sollten, daß die Änderung des Gewichtes größer ist, als sie nach den genannten Erfahrungen einer etwaigen Verschiedenheit in dem Einfluß der Schwere entsprechen kann. Landolt hat nun die Prüfung der fraglichen Gewichtsänderungen von dem Gesichtspunkte aus unternommen, ob diese Änderungen — sofern sie überhaupt konstatierbar sind — eine Größe erreichen, welche die Bestimmung des Atomgewichtes im wesentlichen beeinflussen könnte. Es mußte, wenn möglich, mit Bestimmtheit festgestellt werden, ob die Chemiker wirklich mit einem wägbaren Äther zu rechnen haben oder nicht. Landolt hat folgende Reaktionen zur Prüfung herangezogen:

I. Umsatz von Silbersulfat und Ferrosulfat in Silber und Ferrisulfat. $Ag_2SO_4 + 2FeSO_4 = 2Ag + Fe_2(SO_4)_3$.

II. Umsetzung von Jodsäure und Jodwasserstoff in Jod und Wasser. $HJO_3 + 5H_2SO_4 + 5KJ = 6J + 5KHSO_4 + 3H_2O$.

III. Überführung von Jod in Jodwasserstoff mit Hülfe von Natriumsulfit. $2J + 2Na_2SO_3 = 2NaJ + Na_2S_2O_6$. Diese beiden letzten Reaktionen stehen annähernd in umgekehrtem Verhältnisse zu einander, insofern bei der einen Jod in festem Zustande sich abscheidet, bei der anderen dagegen verschwindet. Man konnte daher erwarten, daß die Gewichtsänderungen im entgegengesetzten Sinne auftreten werden.

IV. Umsetzung von Chloralhydrat und Ätzkali in Chloroform und Kaliumformiat. $CCl_3CH(OH)_2 + KOH = CCl_3H + CHKO_2 + H_2O$.

Existiert ein wägbarer Äther, dann rührt eine Zu- oder Abnahme des Gesamtgewichtes nach der Umsetzung davon her, daß die beiden Reaktionsprodukte einen anderen Äthergehalt besitzen, als die in Reaktion gebrachten ursprünglichen Stoffe. Bleibt das Gewicht unverändert, so könnte dies allerdings davon herrühren, daß bei dem chemischen Umsatze nur eine andere Verteilung des Äthers stattfindet und die Summe desselben in den vor und nach der Reaktion vorhandenen Körpern die gleiche bleibt. Bei der großen Verschiedenheit der betreffenden Substanzen ist jedoch dieser Fall wenig wahrscheinlich.

Die Versuche[35] wurden in ∩ förmigen Glasgefäßen, die nach erfolgter Beschickung zugeschmolzen wurden, derart durchgeführt, daß die Gewichtsdifferenz der beiden Apparate A und B bestimmt wurde, und zwar:

I. im ursprünglichen Zustande,

II. nach Vornahme der Reaktion in A und

III. nach Vornahme der Reaktion in B.

Ergab die Wägung II eine Abnahme der Differenz A—B, so mußte die Wägung III eine Zunahme aufweisen; jeder Versuch war somit ein doppelter.

Aus dem reichlichen Beobachtungsmaterial seien die folgenden Daten wiedergegeben:

Reaktion.	Gewichtsänderung für 100 gr Reaktionsmasse. mgr
Silbersulfat und Eisenvitriol	— 0·146 — 0·115 — 0·076
Jodsäure und Jodwasserstoff	— 0·037 — 0·089 — 0·066 — 0·065 — 0·056 — 0·003
Jod und Natriumsulfit	+ 0·067 — 0·020 + 0·001 — 0·066
Chloralhydrat und Ätzkali.	+ 0·006 + 0·003

---

[35] Vergleiche hierzu auch die Versuche Jolys, angegeben in Ramsay: Einige Betrachtungen über das periodische Gesetz der Elemente. (Vortrag auf der Naturforscherversammlung zu Cassel 1903) S. 12 und Fortschritte der Physik der Materie, herausgeg. von Scheel, Band 58/1. S. 96.

An diese Versuche schloß sich ein letzter, welcher die Prüfung eines möglichen Zusammenhanges bezweckte, der zwischen den ermittelten Gewichtsdifferenzen und den Änderungen bestehen würde, welche die mittlere Dichte der gesamten Reaktionsmasse im Verlaufe der Umsetzung erfährt. Solche Dichteänderungen treten beim Lösungsprozesse fester Körper auf, so zum Beispiel von Chloralhydrat in Wasser, wobei sich eine starke Abnahme zeigt. Die Versuche, nach Analogie der vorangehenden durchgeführt, ergaben, daß beim Lösungsprozesse des Chloralhydrates in Wasser zwar eine Gewichtsdifferenz sich ergibt, die jedoch innerhalb der Wägungsfehler liegt. Somit können die bei den chemischen Reaktionen beobachteten Ab- und Zunahmen des Gewichtes nicht von bloßen Dichteänderungen der Körper herrühren.

Landolt deutet das Endresultat seiner Untersuchungen dahin, daß bei keiner der angewandten Reaktionen eine Gewichtsänderung mit Bestimmtheit zu konstatieren war. Trotzdem die Reaktion zwischen Silbersulfat und Eisenvitriol in allen drei Versuchen eine Gewichtsabnahme nach sich zog, welche den wahrscheinlichen Fehler der Wägungen um das sechs- bis zwölffache übersteigt, kann das Auftreten einer derartigen Gewichtsänderung noch keineswegs als sicher festgestellt erachtet werden. Einerseits sind Unzulänglichkeiten der Wage nicht ausgeschlossen, andererseits erscheint der Umstand verdächtig, daß die Gewichtsabnahmen den angewandten Reaktionsmassen nicht proportional sind. Nichtsdestoweniger ergibt sich aus diesen Bestimmungen als bestimmtes Resultat, daß die beobachteten Gewichtsabnahmen, sollten sie tatsächlich statthaben, keinen irgendwie in Betracht kommenden Einfluß auf die Bestimmung des Atomgewichtes des Silbers nehmen könnten; sie üben höchstens eine Veränderung auf die 4. Dezimale aus, während die aus den verschiedenen Analysen resultierenden Werte[36] bereits in der zweiten Dezimale um mehrere Einheiten von einander abweichen.

Die Reaktion zwischen Jodsäure und Jodwasserstoff hat zwar in sechs Versuchen eine Gewichtsabnahme hervorgerufen, die-

---

[36] Stas a. a. O. S. 218.

selbe ist jedoch in zwei Fällen durch ihre Geringfügigkeit dem wahrscheinlichen Fehler der Wägung sehr nahestehend. Während im Verlaufe dieser Umsetzung auffallenderweise keinerlei Gewichtszunahme stattfand, haben die vier Versuche betreffend die Umsetzung zwischen Jod und Natriumsulfit zweimal eine Zunahme und ebenso oft eine Abnahme des Gewichtes ergeben und zwar in Beträgen, welche sich nahezu aufheben. Hiernach muß bei dieser Reaktion eine völlige Unveränderlichkeit des Gewichtes als höchst wahrscheinlich angenommen werden. Schließlich lassen die zwei Versuche über die Zersetzung des Chloralhydrates durch Ätzkali keine Gewichtsänderung erkennen, denn die aufgetretenen Differenzen bleiben unterhalb der Wägungsfehler.[37]

Im allgemeinen sind die Gewichtsänderungen, wenn sie dennoch bestehen sollten, von einer derartigen Geringfügigkeit, daß sie in keiner Weise die stöchiometrischen Rechnungen zu beeinflussen vermögen, wie die Versuche über die Abscheidung von Silber und von Jod es beweisen. Demzufolge, schließt LANDOLT, ist auch die der ganzen Arbeit zugrunde gelegte Frage, ob die Abweichungen der Atomgewichte von ganzen Zahlen etwa davon herrühren, daß bei den chemischen Umsetzungen der Körper eine gewisse Menge wägbaren Äthers ein- oder austritt, im verneinenden Sinne entschieden. Damit schließt sich der letzte Ausweg, welcher der PROUT'schen Hypothese noch offen geblieben war.

Die klassischen Untersuchungen LANDOLT's haben ihre Fortsetzung durch HEYDWEILLER[38] gefunden, angeregt durch den Hinweis LANDOLT's, daß es in physikalischer Hinsicht wohl Interesse bieten dürfte, die nicht genügend aufgeklärten Gewichtsabnahmen auf ihr wirkliches Bestehen zu prüfen, da immerhin darüber noch keine vollständige Sicherheit herrsche, daß dieselben sämtlich auf Beobachtungsfehlern beruhen. HEYDWEILLER knüpft an die Möglichkeit an, daß eine Änderung der magnetischen Eigenschaften,

[37] Notizen über die Fortsetzung der LANDOLT'schen Versuche siehe: Sitzungsberichte der k. preuß. Akademie der Wissenschaften, 1900 S. 11, 1902 S. 325 u. 1105, 1903 S. 1095. Der letzteren Notiz ist zu entnehmen, daß die bis dahin bei vielen Reaktionen beobachteten Gewichtsabnahmen nicht mehr eintreten, wenn die betreffenden Substanzen in Gefäßen aus Quarz sich befinden, oder in Glasapparaten, deren Innenfläche mit einer Paraffinschicht überzogen ist.

[38] DRUDE's Annal. IV. Folge. V/394.

wie sie das Eisen erleidet, indem es aus einer Ferroverbindung in eine Ferriverbindung übergeht, mit einer Änderung des Gewichtes verbunden sei. Demgemäß wendet HEYDWEILLER jenen Reaktionen, in deren Verlaufe die Überführung von metallischem Eisen in eine seiner Verbindungen oder die Ausscheidung aus einer solchen zu erwarten steht, in erster Reihe sein Augenmerk zu. Er läßt Eisen in Pulverform auf neutrale, basische und saure Kupfersulfatlösung einwirken, wobei im zweiten und dritten Falle eine Gewichtsänderung mit Sicherheit festzustellen ist. Da in Hinsicht auf die beiden durchgeführten Reaktionen, die Auflösung von Kupfersulfat in Wasser und die Einwirkung von Kalilauge auf eine Kupfersulfatlösung bis zur Ausfällung einer geringen Menge Kupferhydroxyd ins Spiel kamen, werden auch diese beiden Prozesse für sich untersucht, wobei wiederum eine Gewichtsänderung mit Sicherheit nachzuweisen ist. Das Auflösen eines Stoffes wirkt somit ebenso gewichtsvermindernd, wie das Ausfällen eines festen Stoffes. In einem dritten Falle von Änderung des Aggregatzustandes im Verlaufe der Reaktion: der Ausfällung von Baryumsulfat aus dem Chlorid durch Schwefelsäure, zeigte sich keine sichere Gewichtsänderung. Endlich fand sich bei der Neutralisation von Essigsäure mit Ammoniak eine kleine Gewichtsverminderung, welche kaum die Beobachtungsfehler übersteigt. Die beiden letzten Versuche wiesen darauf hin, daß Gewichtsänderungen in demselben Sinne, sowohl bei Verminderung wie bei Vermehrung der elektrolytischen Dissoziation, eintreten, denn die Ausfällung von Baryumsulfat bedingt einen Rückgang, die Neutralisation einer schwachen Säure mit einer schwachen Basis eine Vermehrung der Jonenzahl. Es ist daher die Vermutung, daß diese Gewichtsänderungen in einem Zusammenhange mit der Änderung der Jonenzahl[39] stehen, nicht zutreffend.

Ein Überblick über die Gesamtheit der bisher mit Sicherheit festgestellten Gewichtsänderungen bei chemischen oder physikalischen Umsetzungen lehrt, daß diese Änderungen fast durchwegs in einer Gewichtsabnahme bestehen, daß sie jedoch mit den verschiedensten und entgegengesetzten Änderungen der physika-

[39] Siehe Physikal. Zeitschr. I/237, 1900. LIEBEN: Zur Frage nach dem Gewichte des Elektrons.

lischen Eigenschaften des Reaktionssystemes verbunden erscheinen. Es sind somit Beziehungen zwischen den Gewichtsänderungen und den gleichzeitigen Änderungen der physikalischen Eigenschaften nicht zu erkennen und auch wohl nicht vorhanden, so daß für eine systematische Fortsetzung der Versuche nur sehr schwache Fingerzeige vorliegen und es nach HEYDWEILLER's Ansicht noch einer großen Anhäufung des sehr zeitraubenden Beobachtungsmaterials bedarf, ehe eine Lösung der hier aufgegebenen Rätsel gelingen wird.

Das Gesamtresultat der Versuche KREICHGAUER's, LANDOLT's und HEYDWEILLER's läßt sich nunmehr dahin deuten, daß die etwa beobachteten Gewichtsänderungen ihres minimalen Betrages wegen für die Chemie von keiner reellen Bedeutung sind und in physikalischer Beziehung insolange als „Rätsel" erscheinen müssen, als infolge der Spärlichkeit des Beobachtungsmaterials keinerlei Andeutung über den inneren Zusammenhang der gefundenen Resultate zu finden ist. Jede Vermutung über den Ein- oder Austritt von Äther oder von Elektronen[40], letzteres bedingt durch Änderungen der elektrolytischen Dissoziation der reagierenden Stoffe, ruht daher auf sehr schwankendem Grunde.

Der Satz von der Erhaltung des Stoffes oder das Prinzip von der Konstanz der Materie vermag somit noch weiterhin seinen Rang als streng gültiges Naturgesetz zu behaupten. Jedoch darf die Tatsache nie aus dem Auge verloren werden, daß die experimentelle Feststellung der Unzerstörbarkeit des Stoffes stets in der Weise vor sich geht, daß diese Unzerstörbarkeit durch das unveränderte Gewicht des betreffenden Stoffes gemessen wird. Dabei ist wohl zu beachten, daß das Gewicht, als Wirkung der Schwerkraft, mit der Entfernung der Stoffmasse vom Erdmittelpunkte sich ändert, so daß das Gewicht eines Körpers relativ genommen zwar überall gleich bleibt, das heißt, daß der Körper überall demselben Gegengewicht das Gleichgewicht halten wird, während sein absolutes Gewicht mit der Erhebung über die Erdoberfläche oder der Änderung des Breitengrades sich ändert. Ist das Gewicht zwar das einzig richtige Maß der Masse oder Quanti-

---

[40] Siehe das Kapitel: Die Auffassung von der elektronischen Struktur des Stoffes.

tät des Stoffes, so ist es seiner Natur nach keineswegs auch das Gegenstück oder Abbild absoluten, stofflichen Bestandes eines Körpers, sondern nur der bloße Ausdruck für die Anziehung zweier Massen, im speziellen Falle der Erde und des betreffenden Körpers. Der Satz von der Unzerstörbarkeit des Stoffes kann somit auch als einfachster Ausdruck für die Beständigkeit der Schwerkraft seine Deutung finden.[41]

[41] Über die Gültigkeit des Satzes von der Erhaltung des Stoffes im Gebiete der Erscheinungen der Radioaktivität siehe das in der vorhergehenden Fußnote genannte Kapitel.



Der logische und psychologische Ursprung der Atomistik.

Die Chemie benötigt zur Herstellung eines widerspruchslosen Zusammenhanges ihrer Erkenntnisse ein beharrendes Substrat ihrer Erscheinungen und findet es in dem Begriff des chemischen Elementes. In ihren wechselnden Gruppierungen nach konstanten und einfachen Gewichtsverhältnissen, wie sie in den stöchiometrischen Grundgesetzen zusammengefaßt erscheinen, beruht die Bildung der zahllosen chemischen Verbindungen, und die Volumverhältnisse, in denen gasförmige Elemente zusammentreten, lassen sich in einer Regel von gleicher Einfachheit beschreiben. Alle Erscheinungen, welche in dem vorhin erörterten Prinzip von der Konstanz der Materie, sowie in den eben erwähnten, einfachen Regeln ihren Ausdruck finden, in einem wohlgeordneten Ganzen zusammenzufassen, das in allen seinen Teilen die Züge strenger, systematischer Ordnung aufweist, ist das zunächstliegende Ziel der Chemie. Darüber hinaus trachtet sie jedoch, diese Erscheinungen in ihrem ursächlichen Zusammenhange aufzufassen, die kausale Interpretation eines bestimmten Teiles des gesamten Naturgeschehens zu verwirklichen. Die Erinnerung an unsere flüchtige Erwähnung der zwei Grundgedanken der altjonischen Naturphilosophie lehren uns, wie bereits im naiven Bewußtsein des Menschen das Streben nach Erkenntnis des Naturgeschehens auf die umfassende Verbindung der einzeln beobachteten Erscheinungen hinzielt. Wir sahen, wie innerhalb der ältesten Epoche griechischer Philosophie das Stoffproblem auftauchte; wir schilderten in äußerst flüchtigen Zügen die notwendige Entwicklung des Dingbegriffes der Erfahrung zum Substanzbegriffe und können nun einen weiteren Schritt tun. Gewisse Naturerscheinungen fesseln einerseits die Aufmerksamkeit des Menschen in höherem Grade als andere, andererseits trägt der menschliche Geist gewisse subjektive Begriffe und Gefühlsrich-

tungen in die Naturbeobachtung hinein. So ist beispielsweise dem glänzenden Begleitphänomen der Verbrennung, dem Feuer, eine hervorstechende Rolle im Systeme HERAKLIT's[42] eingeräumt, und nicht minder in der später zu erörternden Elementenlehre des EMPEDOKLES[43] mit ihrer naiven Symbolisierung der drei Aggregatzustände, des Gasförmigen durch die Luft, des Flüssigen durch das Wasser und des Festen durch die Erde, denen sich die lebhaft die Sinne fesselnde Erscheinung des Feuers hinzugesellt. So finden wir bereits in der vorwissenschaftlichen Naturerklärung das Kausalitätsbedürfnis, das Streben des menschlichen Geistes, den Verlauf jeder einzelnen Naturerscheinung in Ursache und Wirkung aufzulösen, als zielweisende Triebfeder vor; parallel zu diesem Streben läuft jene Anschauungsweise, welche ein einheitliches Bild des Naturgeschehens dadurch zu erreichen sucht, daß sie das Naturgeschehen von einem bestimmten Zwecke beherrscht sein läßt. Beide Motive, das Vorwalten hervorragend sinnenfälliger Naturerscheinungen, sowie die Existenz subjektiver Begriffe und Gefühlsrichtungen, beeinflussen vereint die Gestaltung bestimmter Grundanschauungen in der Naturerklärung.[44] In der wechselvollen Mannigfaltigkeit der Naturerscheinungen ist es die beim Stoß der Körper ohne weiteres eintretende Übertragung der Bewegung, welche durch ihren Verlauf hervorragend befähigt ist, das Kausalitätsbedürfnis unmittelbar zu befriedigen; im allgemeinen werden es Bewegungserscheinungen sein, welche den gleichen Zweck erfüllen. Werden nun andere Naturerscheinungen auf dieses Urbild der Übertragung von Bewegung durch Stoß zurückgeführt, werden zum Beispiel Schall, Licht und Wärme als Wirkung der Schwingungen bestimmter Stoffpartikelchen aufgefaßt, werden die chemischen Verbindungsprozesse in das Spiel der Atome aufgelöst, dann ist ein gewichtiger Schritt zur einheitlichen Zusammenfassung der Naturbeobachtungen getan. Alle anderen Formen der Naturkausalität sind auf ein unmittelbar anschauliches Bild kausaler Beziehungen zurückgeführt. Geschieht dies in systematischer Weise, dann ist die Naturerklärung vom Begriffe der mecha-

[42] Siehe Seite 7. — [43] Siehe den folgenden Abschnitt. — [44] Näheres siehe WUNDT: Logik, Band II/1 S. 272.

nischen Kausalität beherrscht. In diesem Begriffe sehen wir eine jener Grundanschauungen, deren Entstehung aus zwei Komponenten wir soeben schilderten: einem objektiven, die Naturerscheinung, welche die Sinne vorzüglich fesselt, und den subjektiven Begriffen, welche unsere Art der Naturauffassung lenken. Beide Faktoren müssen notwendigerweise ineinander eingreifen, denn nach unseren Ideen richtet sich die Auffassung der Naturerscheinungen, und umgekehrt wirken gewisse auffallende Züge in diesen Erscheinungen auf die Ausbildung unserer Ideen zurück. Entsprechen auch zahlreiche Naturerscheinungen nicht unmittelbar dem Bilde des Stoßes, so werden sie nichtsdestoweniger unter der Herrschaft des Begriffes der mechanischen Kausalität mit den übrigen Naturerscheinungen, welche diesem Bilde entsprechen, derart in einen Zusammenhang gebracht, daß sie als bloßer sinnlicher Schein erklärt werden, dem ein der sinnlichen Wahrnehmung nicht zugänglicher, mechanischer Vorgang (Schwingung von Ätherteilchen oder von Atomen) zugrunde liegt.[1]

Bewegung und Wechselwirkung im Stoß der Körper bieten Musterbeispiele anschaulichen Geschehens dar; werden sie der Erklärung aller anderen Naturerscheinungen zugrunde gelegt, dann ist die Natur als ein objektiv-anschaulicher Zusammenhang aufgefaßt; dann hat die Forderung nach einer vollkommenen Anschaulichkeit der Vorgänge, welche dem logischen Trieb des Bewußtseins unmittelbar entspringt, innerhalb der Naturerklärung ihre Erfüllung gefunden. Der Forderung nach einer vollkommenen Anschaulichkeit der Vorgänge, welche, schon das

[1] An dieser Stelle sei an jene Art der Naturauffassung erinnert, welche das Naturgeschehen unter die Herrschaft des Begriffes vom Zweck (τέλος, telos) stellt. Wir nennen sie die teleologische Naturauffassung. Ihr geistiger Ursprung ist von der gleichen Art wie jener der kausalen Naturauffassung. Einerseits fesseln die Lebenserscheinungen, das Entstehen, die zweckmäßige Entwicklung und das Vergehen der organisierten Körper, die Sinne in hervorragendem Maße, andererseits überträgt der Mensch den subjektiven Begriff der Zweckmäßigkeit, der sein eigenes Handeln, namentlich dort wo es schöpferisch auftritt, beherrscht, auf die Naturauffassung. Im Gegensatze zu dem objektiv-anschaulichen Zusammenhange, welchen die kausal-mechanische Naturauffassung herstellt, bringt die teleologische durch Einführung des der subjektiven Erfahrung entstammenden Zweckbegriffes, die Natur in einen großen begrifflichen Zusammenhang.

älteste Natursystem, die LEUKIPP-DEMOKRIT'sche Atomistik[46], beseelt, tritt das Prinzip der Einfachheit zur Seite. Es waltet in der Naturauffassung vor, sobald der Gedanke sich entfaltet, daß alles Geschehen in der Natur einfachsten Regeln folge. (Die Gültigkeit dieses Gedankens ist zwar vom Standpunkte der hochentwickelten Naturwissenschaft nur mit Einschränkungen zuzulassen, denn bald verbirgt die in den Erscheinungen klar und deutlich sichtbare Einfachheit außerordentlich komplizierte Vorgänge, bald wieder versteckt sich die Einfachheit unter komplizierten Erscheinungen.[47]) Unter dem Gesichtswinkel des Prinzipes der Einfachheit sind es möglichst einfache Annahmen, von denen jede Untersuchung der Naturerscheinungen auszugehen hat. Die Atomistik genügt in jedem Falle diesem Prinzip. Am schlagendsten erweist sie dies in der Chemie, wo die kompliziertesten Prozesse in die Bewegung weniger Arten qualitätsverschiedener Atome aufgelöst erscheinen. Die Bewegungserscheinungen sind somit die einfachste und anschaulichste Form des Naturgeschehens. In ihrem leicht übersehbaren Zusammenhange sind sie vorzugsweise geeignet, dem Kausalitätsbedürfnis des Naturbeobachters am unmittelbarsten Genüge zu tun.

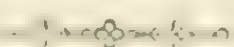
Die kurze Betrachtung jener Prinzipien, welche schon in der Frühzeit denkender Naturbeobachtung der Naturerklärung zielvoll die Pfade weisen, lehrt uns die Auffassung einigermaßen verstehen, welche die Chemie ihren Erscheinungen entgegenbringt. Im letzten Grunde führt sie dieselben auf die Bewegung unveränderlicher Stoffpartikelchen: die Atome, zurück. Aus bestimmten logischen Antrieben des menschlichen Denkens, dort, wo es Naturvorgänge betrifft, entspringt jene mechanistisch-materialistische Naturauffassung, welche nicht nur in Form der Atomhypothese DALTON's zur unerschütterlichen Grundlage der Chemie geworden ist, sondern auch in den übrigen Naturwissenschaften wegweisend vorherrscht, indem dieselben ihrerseits allen Erscheinungen die Bewegung letzter, unveränderlicher Teilchen zugrunde legen. Wir erkennen in den bewegten Atomen ein gedankliches Mittel, um Erscheinungen in einer Weise darzustellen, wie sie von den Prin-

[46] Siehe den folgenden Abschnitt. — [47] Siehe POINCARÉ: Wissenschaft und Hypothese. Deutsch von F. und L. LINDEMANN S. 147 ff.

zipien unseres Denkens in Bezug auf Naturdinge gefordert wird. Es ist nicht zu übersehen, daß vielfach Erscheinungen an und für sich den äußeren Anlaß zu einer rein mechanischen Erklärungsweise geben, indem sie sich in Gestalt von Bewegungsvorgängen dem beobachtenden Auge darbieten. Die tönende Stimmgabel weist deutlich Schwingungen auf, die Körper dehnen sich beim Erwärmen aus, ein elektrischer Körper vermag andere anzuziehen u. s. f.

So lernen wir in den bewegten Atomen ein bloßes Gedankensymbol für den Zusammenhang bestimmter Gruppen von Naturerscheinungen erfassen, womit die Wirklichkeit nicht in, sondern vielmehr hinter die bewegten Atome verlegt ist. Nach einem geistvollen Vergleiche ERNST MACH'S[48] legt auch der Kaufmann nicht der Etikette auf einer Warenkiste realen Wert bei, sondern dem Inhalte. Das Atom ist „bloße Rechenmarke der Theorie".[49]

[48] Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung. Popul. wissenschaftliche Vorlesungen. 3. Aufl. S. 230. — [49] LIEBMANN: Zur Analysis der Wirklichkeit 1876. S. 296.



Die Entwicklung der antiken Atomistik.

„Wären wissenschaftliche Systeme wirklich so unfehlbare Offenbarungen, wie sie es zuweilen von sich behaupten, so möchte es gerechtfertigt erscheinen, wenn von der Beschaffenheit der bloßen Meinungen oder Phantasien, die ihnen vorangingen, keine Notiz mehr genommen wird. Aber der Forscher, der sich von seinen modernen Lehrbüchern zu den veralteten Abhandlungen der großen Denker der Vergangenheit wendet, gewinnt aus der Geschichte seiner Wissenschaft eine wahrere Anschauung von dem Verhältnis der Theorie zu den Tatsachen, er lernt aus dem Verlaufe ihres Wachstums zu jeder herrschenden Hypothese ihre raison d'être und ihre volle Bedeutung würdigen und verstehen, ja er findet sogar, daß die Rückkehr zu den älteren Ausgangspunkten ihn zuweilen in den Stand setzen kann, neue Pfade ausfindig zu machen, welche dem Gange der modernen Entwicklung durch unüberwindliche Hindernisse versperrt zu sein schienen."[50] Diese vortrefflichen Worte TYLOR's mögen unserem Studium der antiken Atomistik präludieren. Eine Hypothese, ein rein begriffliches Gebilde des menschlichen Geistes, ist das eherne Fundament unserer Wissenschaft. Nicht immer vermag ein rein begriffliches System in der Folge so früchtereich sich erweisen, wie die Atomhypothese in jener Form, welche JOHN DALTON's[51] spekulativer Geist schuf. Des öfteren vermag ein rein begriffliches System in seiner Übermacht schädlichen, ja verheerenden Einfluß auf die Entwicklung naturwissenschaftlicher Zweige auszuüben; die aristotelische Naturauffassung mag uns baldigst ein Beispiel von imposanter Größe für diese geschichtliche Tatsache bieten.[52] Wie ein unübersteigbarer Wall türmt sich die Lehre des Stagiriten jeder ersprießlichen Fortbildung der Resultate positiver Natur-

---

[50] TYLOR: Die Anfänge der Kultur, II.446. — [51] Siehe das Kapitel: Die Entwicklung der Stöchiometrie. DALTON's Atomhypothese etc. — [52] Siehe das Kapitel: Die qualitative Elementenlehre, ihr logischer Grundfehler etc.

forschung entgegen, wie sie das Altertum in reichlichem Maße gezeitigt hatte. So weist die Mechanik seit den Tagen eines Archimedes bis auf Galilei keine Fortschritte mehr auf, und chemische und medizinische Forschung stehen — erstere in Form der Alchemie — unter dem hemmenden Banne des rein spekulativen Truggebildes der aristotelischen Elementenlehre. Die Möglichkeit, dem schädlichen Einflusse eines begrifflichen Systems in jedwedem Wissenszweige sich zu entziehen, liegt in dem Streben, über Einzelerkenntnisse hinweg den Entwicklungszug des betreffenden Systemes bis zu seinem Urquell zu verfolgen: der ganz bestimmten Organisation des menschlichen Denkens, sozusagen der bestimmten Struktur des menschlichen Geistes, welche alles Vorwärtsstreben, zumal in Dingen der Naturwissenschaft, in ganz eigene, oft von der segensreichen Wahrheit weit abirrende Richtungen drängt.

Unsere Betrachtungen im vorigen Abschnitte haben uns jene Motive kennen gelehrt, welche den menschlichen Geist im frühen Stadium seiner Entwicklung zur denkenden Naturbeobachtung, zu atomistischen Anschauungen hinleiten. Die Atomhypothese Leukipp-Demokrit's bildet zurzeit, wenn auch äußerlich in veränderter Gestalt, das gewaltige Fundament der Chemie. Ein tieferes Verständnis des Wesens und der Bedeutung dieser Hypothese muß daher im Rahmen einer Betrachtung ihres geschichtlichen Entstehens und ihrer geschichtlichen Entwicklung eine Würdigung jener Denknotwendigkeiten umfassen, welche auf die Konstruktion der Atomhypothese als eines der gewichtigsten Hülfsmittel der Naturerklärung, von richtunggebendem Einflusse sind.

Das Hauptproblem, um dessen Lösung sich die altjonische Naturphilosophie mühte, ist uns bekannt. Die Atomhypothese Leukipp-Demokrit's bezeichnet den glanzvollen Endpunkt einer allmählichen Weiterentwicklung und Vertiefung des altjonischen Stoffproblems.[53] Vom Boden der Urstofflehre, welche die altjonischen Weisen gepflegt hatten, sollte sich der griechische Genius, von den ersten Anfängen realer Naturerfahrung beflügelt, allmählich zur Höhe jenes Denkmittels aufschwingen, mit dessen Hülfe der menschliche Geist bis zur Stunde die Fülle des Naturgeschehens zu umfassen trachtet: es ist die Atomistik. Unserer

[53] Vergl. Seite 6 ff. Siehe zum folgenden namentlich Gomperz a. a. O. I. Bd.

kurzen Betrachtung der antiken Atomistik wollen wir die gebräuchliche Einteilung der griechischen Philosophie vorausschicken. Sie wird übersichtlich in drei Perioden zerlegt: 1. die vorsokratische Philosophie (von THALES VON MILET bis einschließlich den Sophisten), 2. die Epoche eines SOKRATES, eines PLATO und ARISTOTELES, 3. die nacharistotelische Philosophie. Wir werden unsere Kenntnisse über die antike Atomistik vornehmlich aus der ersten Periode zu schöpfen haben, während aus der dritten EPIKUR's System Erwähnung finden soll.

In der Reihe der großen Gestalten aus der vorsokratischen Epoche fesseln nunmehr zwei unsere Aufmerksamkeit, da in ihren Gedanken die ersten Züge der eigentlichen Atomistik eines LEUKIPP, eines DEMOKRIT und eines EPIKUR deutlich sich widerspiegeln: ANAXAGORAS, geboren um 500, EMPEDOKLES, geboren um 495 v. Chr. Die Lehre des ersteren der beiden Weisen steht ihrem inneren Wesen nach in einem bedeutungsvollen Gegensatze zur Urstofflehre der altjonischen Naturphilosophie. Es leuchtet unmittelbar ein, daß die Urstofflehre den Keim des Zweifels an die Gültigkeit der Sinneszeugnisse in ihrem Schoße barg. Denn hatte sich der Gedanke von der einzig wahren und wirklichen Urform des Stoffes, aus welchem alle anderen Stoffe nur durch Umformungen hervorgehen, fest im antiken Denken verankert, dann war auch allmählich jener Skepsis der Weg geebnet, die in einem beliebigen Körper nur ein täuschendes Sinnenbild erblickte, da er ja in Wahrheit nur Wasser oder Luft sei. Und nun findet sich merkwürdigerweise bei ANAXAGORAS, einer Zierde des erlesenen Kreises, welchen PERIKLES (gest. 429 v. Chr.) um sich versammelte, nicht nur keinerlei Spur dieses Zweifels, im direkten Gegenteile sind die Dinge, seinem Ausspruche nach, so beschaffen, wie die Sinne sie uns zeigen. Sie sind ungeworden und unzerstörbar, denn alles Entstehen ist nur eine Mischung vorhandener Dinge, und ihre Scheidung bedeutet das Vergehen eines bestimmten Dinges. So viele Verschiedenheiten uns nun die Sinne offenbaren, so unerschöpflich zahlreich müssen die Urstoffe, die Ursamen der Dinge sein. Durch ihre Verbindung und ihre Trennung entsteht die Vielheit der Dinge, Lagenveränderung, somit Bewegung ist die Urveränderung, die allem Naturgeschehen zugrunde liegt.

Erblicken wir so einerseits in der Lehre des ANAXAGORAS ein plumpes Abbild unserer heutigen mechanischen Naturauffassung, so wohnt ihr doch andererseits der starke Zug inne, die Zweckmäßigkeit zum obersten Prinzip des Naturgeschehens zu erheben[54], denn aus dem Chaos der Ursamen entwickelt sich das geordnete Universum durch Einwirkung einer Art Weltintelligenz, des „Nus", welcher zwar teilweise eine Art Äther oder Fluidum bildet, da ihn ANAXAGORAS als das „feinste und reinste aller Dinge" preist, während er gleichzeitig im Besitze „jeglichen Wissens über Jedes", über „Vergangenes, Gegenwärtiges und Zukünftiges" steht.

ANAXAGORAS' Zeitgenosse EMPEDOKLES, der Wundertäter und Seher, der, wie eine Gottheit verehrt, die Gaue Siziliens lehrend und wunderverrichtend durchzog, ist uns durch das Schwergewicht seiner Leistungen, die Elementenlehre, bekannt. Die empedokleische Elementenlehre bedeutet im gewissen Sinne den naiven Vorläufer der Elementenlehre des ARISTOTELES, die uns späterhin des eingehenden beschäftigen soll.[55] Feuer und Wasser, Erde und Luft faßt EMPEDOKLES in grobsinnlicher Weise als die vier Grundelemente des Universums auf. Deutlich prägt sich in dieser Auffassungsweise der organische Zusammenhang mit jenen Prinzipien aus, welche das naive Denken der altjonischen Naturphilosophen zum Emporsprießen gebracht hatte. Denn wie eine Zusammenfassung der Lehren eines THALES[56], eines ANAXIMENES und eines HERAKLIT mutet uns die empedokleische Stofflehre an, da sie dem Wasser, der Luft und dem Feuer die Erde als den vierten der ewigen Urstoffe hinzugesellt, durch deren Mischung und Entmischung die unerschöpfliche Mannigfaltigkeit des Weltalls, alles Entstehen und Vergehen bedingt ist. So wird die bloße Ortsveränderung, die Bewegung, zum Urbild alles Geschehens, die Natur ist im Spiegel der Mechanik gesehen, um die Sachlage nach unseren heutigen Begriffen zu kennzeichnen. Erscheint uns auch heutzutage EMPEDOKLES' Lehre nur als plumpe Symbolisierung der drei Aggregatzustände: des gasförmigen durch die Luft, des flüssigen durch das Wasser und des festen durch die Erde, denen sich das sinnfesselnde Begleitphänomen der Verbrennung: das Feuer, zur Seite stellt, so enthält sie doch in vielen Zügen ganz

[54] Vergl. S. 29, Fußnote. — [55] Siehe das folgende Kapitel. — [56] Vergl. S. 6 ff.

erstaunliche Beziehungen zu den Grundlehren der modernen Chemie. Trotz der primitiven Denkart, welche die voraristotelische Zeit den Naturdingen entgegenbrachte, vermögen wir bei EMPEDOKLES manches zu finden, das unser Interesse erregt, womit eine kleine Abschweifung von unserem eigentlichen Thema gerechtfertigt sei. Tausendfältig lehrt die Geschichte der Naturwissenschaften, daß grundlegende Lehren ein Ziel sind, welches der menschliche Geist nur auf weiten Umwegen zu erreichen pflegt. Gleich wie das kopernikanische Weltsystem nur über den Irrtumspfad der Astrologie und des ptolemäischen Systems nach jahrhundertelangen Mühen erreicht wurde, hat die Lehre von den chemischen Elementen und ihren Verbindungsgesetzen aus ihrer rohen Form bei EMPEDOKLES durch die Scheinwissenschaft der aristotelischen Elementenlehre und der Halbwissenschaft der Alchemie hindurch zu ihrer heutigen Vollendung sich durchringen müssen. EMPEDOKLES dringt zu der fundamentalen Erkenntnis vor, daß die Eigenschaften eines Dinges von den Mengen der vier Elemente, mit denen sie sich an der Zusammensetzung beteiligen, abhängig sind. Die Qualität des Dinges ist durch die Quantität der im Dinge enthaltenen Elemente bedingt, eine Anschauung, die sich nach unserer heutigen Auffassungsweise etwa in homologen Reihen (ohne Isomeriefälle) verwirklicht. Gehen wir vom Methan als dem einfachsten Beispiele aus, dann verändert die progressive Zunahme an Kohlenstoff und Wasserstoff die Qualität der einzelnen Glieder der Paraffinreihe in einschneidender Weise. In der Art unseres Philosophen besteht Fleisch und Blut aus gleichen Gewichtsteilen der vier Elemente, während die Knochen $^1/_2$ Feuer, $^1/_4$ Erde und $^1/_4$ Wasser enthalten. EMPEDOKLES vergleicht die vier Elemente mit den vier Grundfarben der Malerkunst seiner Zeit, durch deren vielfach abgestufte Mischung auf der Palette des Malers die unzähligen Nuancen und Schattierungen entstehen.

Es wird nun nicht schwer fallen, die Keime zur späteren Atomistik zu erkennen, welche in der Auffassung unseres Philosophen von dem Entstehen und Vergehen der Dinge durch den bloßen Zusammentritt und das Auseinandergehen der vier unveränderlichen Grundstoffe, gelegen sind.[57] Die vier Elemente

[57] Siehe hierzu ZELLER a. a. O. I, S. 692, 4. Aufl. und BAEUMKER a. a. O. S. 71.

sind keiner qualitativen Veränderung zugänglich, ihre verschiedenen Mischungen in der Unzahl der Dinge, in unserem Sinne ihre chemischen Verbindungen, sind daher nur auf rein mechanische zurückzuführen. Mußte nicht jeder Versuch, ein klares und anschauliches Bild von der Möglichkeit einer derartigen Mischung zu gewinnen, geradezu zwingend zu der Vorstellung hinleiten, daß die Masse eines jeden der vier Elemente aus kleinen Teilchen sich zusammensetze, die bei der gegenseitigen Mischung der Elemente nebeneinander sich lagern? Von jedem Körper, so lehrt unser Weise, lösen sich unsichtbar kleine Teilchen, Ausflüsse, ab, welche in die Öffnungen, die Poren, des anderen Körpers eindringen[58]; der wichtigen Frage, ob diese Öffnungen selbst ganz leer, oder mit anderen Stoffen, namentlich Luft, erfüllt seien, scheint Empedokles keine Aufmerksamkeit zugewandt zu haben. Wie nahe diese Vorstellungsweise der atomistischen Auffassung der Körper und ihrer gegenseitigen Einwirkung kommen mußte, ist deutlich ersichtlich. Die Stelle der Atome nehmen die unsichtbar kleinen Teilchen ein, an die Stelle des Leeren, der notwendigen Ergänzung der Atome als des Vollen, treten die Poren. Die Zeugnisse, die uns von den Lehren des Empedokles bewahrt sind, lassen jedoch erkennen, daß unser Philosoph weder die Annahme eines leeren Raumes, noch der Atome traf; sie verbürgen selbst nicht mit Sicherheit, daß Empedokles die Vorstellung von der Zusammensetzung seiner vier Grundstoffe aus kleinsten Teilen gehegt hätte, welche, im Gegensatze zu den späteren Atomen, an sich zwar weiterer Teilung fähig wären, in Wirklichkeit aber niemals der Teilung unterliegen. In seinen Ansichten, welche folgerichtig zur Atomistik führen müßten, scheint zwar vieles diese Bestimmung zu fordern, doch der Bericht viel späterer Zeugen, Empedokles habe ausdrücklich die Masse eines jeden der vier Elemente in kleinste Bruchstücke, in kleinste Massenteilchen zerfallen lassen, den Atomen Leukipp-Demokrit's entsprechend, findet in den empedokleischen Fragmenten keinerlei direkte Bestätigung. Bemerkenswert erscheint uns schließlich der Ausspruch

---

[58] Über die Rolle, welche der Idee von diesen stofflichen Ausflüssen der Körper, den „Effluvien", in späterer Zeit zukommt, siehe das Kapitel: Die Korpuskulartheorie Robert Boyle's etc.

unseres Philosophen, daß die Elemente „in ihren Verbindungen durcheinanderlaufend ein anderes Antlitz zeigen“. Insoferne als in diesem Ausspruche die Ahnung sich ausdrückt, daß die Eigenschaften eines Zusammengesetzten von seiner Struktur, von den Lagerungs- und Bewegungsverhältnissen seiner Teile bedingt sind, ist ein neues Verbindungsglied von der empedokleischen Stofflehre zur Leukipp-Demokrit’schen Atomistik geschaffen.

Die Art und Weise, in welcher das Stoffproblem von Thales bis auf Empedokles sich entwickelte, bezeichnet gleichsam die Stufen, von deren Höhe es nunmehr dem Geistespaare Leukipp und Demokrit gelang, die Atomistik als „die reife Frucht an dem Baume der alten von den jonischen Physiologen gepflegten Stofflehre“ (Gomperz) herunterzuholen. Mehr als zwei Jahrtausende sind seit dem Entstehen der Leukipp-Demokrit’schen Atomhypothese verflossen. Die Glorie dieser Geistestat, welche die Fluten der Zeit der erwachenden Chemie mit den ersten Jahren des 19. Jahrhundertes zutrugen, leuchtet bis zur Stunde in ungetrübtem Glanze. Wir haben es bisher an Andeutungen nicht fehlen lassen, welch gewaltiges Denkmittel der Naturwissenschaft in der Atomistik erwächst. Von den beiden gleichaltrigen Weisen, die 460 v. Chr. zu Abdera, der blühenden Handelsstadt an der thrakischen Küste, das Licht der Welt erblickten, überragt die Gestalt des Jüngers, Demokrit, jene des Lehrers, Leukipp, fast vollständig. Leukipp hat ohne Zweifel den Grundriß der atomistischen Physik entworfen, sein Schüler und Freund Demokrit ihn in allen Zügen entwickelt, so daß es heutigen Tages unmöglich erscheint, den geistigen Anteil beider Männer gesondert zu entwickeln. Fest steht, daß der Ausspruch: „Nichts geschieht grundlos, sondern alles mit Grund und durch Notwendigkeit“ — die Devise der kausalen Naturauffassung – von Leukipp herrührt. Wie nun die Atomistik aus der Stofflehre, dem Schatze, den der kühne, hellenische Geist mit dem Werkzeuge denkender Naturbeobachtung gehoben, organisch herauswuchs, wollen wir im folgenden erkennen. Zu der Unzerstörbarkeit und der Unwandelbarkeit des Stoffes, den beiden Postulaten der bisherigen Stofflehre, hatte sich im Laufe der Zeit ein drittes von außerordentlicher Bedeutung hinzugesellt: die Undurchdringlichkeit des

Stoffes. Reale Naturerfahrung hatte die Erkenntnis von dieser dritten Kardinaleigenschaft des Stoffes gezeitigt. ANAXAGORAS weist auf den Widerstand hin, welchen Luft, die in aufgeblähten Schläuchen verschlossen ist, jedwedem Kompressionsbemühen entgegensetzt, und EMPEDOKLES erinnert daran, daß ein Gefäß, dessen Öffnung mit dem Daumen verschlossen in ein Wasserbecken getaucht wird, auch nach dem Entfernen des Fingers nicht mit Wasser sich fülle, während es, offen in Wasser getaucht, das letztere frei einströmen lasse. Er ist sich darüber im klaren, daß im ersten Falle, die im Gefäße enthaltene Luft als undurchdringlicher Stoff dem Wasser den Eintritt verwehre. Die Annahme einer völligen Undurchdringlichkeit des Stoffes erheischte jedoch eine Ergänzung, da sich nicht nur die Frage erhob, wie innerhalb eines undurchdringlichen Stoffes, etwa Luft oder Wasser, Bewegung möglich sei, sondern auch die erheblichen Verschiedenheiten des Widerstandes, welchen etwa die Luft und das Felsgestein dem andringenden Pfeile entgegensetzen, Aufklärung forderten. Diese Ergänzung wurde in der nicht mehr neuen Lehre vom leeren Raume gefunden, nach welcher die Stoffwelt kein zusammenhängendes Ganze bildet, sondern aus einzelnen, völlig undurchdringlichen Kernen besteht, welche durch leere, völlig durchdringliche Zwischenräume von einander getrennt sind. Dadurch ist die Möglichkeit der Bewegung insoferne gegeben, als ein Undurchdringliches dem zweiten auszuweichen vermag, und zwar leichter, schwerer oder schließlich auch gar nicht, je nach der Beschaffenheit und den Abständen solcher Kerne. Die Unzerstörbarkeit, Unwandelbarkeit und Undurchdringlichkeit des Stoffes war somit kühnen Schrittes in die Kerne verlegt, die zufolge ihrer Kleinheit der sinnlichen Wahrnehmung sich entziehen. Zwar sind sie ausgedehnt, doch unveränderlich und unteilbar: es sind die Atome (α, τωμή = nicht, Teilung). Im leeren Raume stieben diese Atome umher. Greifen wir für einen Augenblick nochmals auf die vorhin genannte Doktrin vom leeren Raume zurück. Wir nannten sie nicht mehr neu. Die Namen jener Denker, welche sie ersonnen, sind verschollen, wahrscheinlich waren es Pythagoreer. Ohne uns auf die nähere Schilderung dieser Lehre einzulassen und ihren Zusammenhang mit den Spekulationen HERAK-

lit's und der Eleaten[59] aufzuweisen, sei bloß konstatiert, daß das Leere, das Nichtseiende, die notwendige Ergänzung der Atome als des schlechthin Erfüllten und Seienden bilden mußte. Der leere Raum wurde in dieser Weise als die Ursache der Geschiedenheit und der Abgegrenztheit der Atome gedacht.

Das Leukipp-Demokrit'sche Weltbild sieht somit den Raum von Atomen erfüllt, welche der Qualität nach, durchweg gleich sind, an Gestalt und Größe jedoch unendliche Verschiedenheiten aufweisen. Die geschichtliche Stellung der Atomistik innerhalb der griechischen Philosophie näher zu kennzeichnen, den organischen Zusammenhang der Leukipp-Demokrit'schen Lehre mit den übrigen Zweigen antiker Philosophie des tieferen zu ergründen, würde den Rahmen unserer Aufgabe überschreiten. Bevor wir jedoch von der Betrachtung der antiken Atomistik scheiden, müssen wir noch eines Philosophen aus der nacharistotelischen Periode Erwähnung tun, es ist Epikur (geb. 342 v. Chr.). Epikur macht die Naturerklärung einem bestimmten ethischen Ziele dienstbar. In einer rein mechanischen Naturerklärung wurzeln nach Epikur's Sinne, sowohl Befreiung von Furcht und Unruhe, als auch Erhabenheit über törichten Aberglauben. Indem die Naturerklärung die Ursachen der Veränderungen im Weltall aufhellt und den Wechsel der Dinge als zu ihrem Wesen notwendig gehörend erkennen läßt, vermag sie dem Menschen jene Ruhe der Betrachtung einzuflößen, welche ihn nicht mehr vor jeder Veränderung der Dinge erzittern läßt. Unter den älteren Natursystemen vermochte wohl kein anderes diesem ethischen Zwecke besser zu entsprechen als die Atomistik Leukipp-Demokrit's. Epikur's Physik lehnt sich denn auch vollends an das Lehrgebäude der abderitischen Weisen an. Epikur sieht den Urgrund alles Weltgeschehens in der von Ewigkeit her bestehenden Bewegung von Atomen verschiedener Gestalt, Größe und Schwere. Weist somit das Naturbild, welches Epikur entwirft, keinerlei originelle Züge auf, wird es auch von der epikureischen Ethik völlig verdunkelt, so erscheint uns dennoch die Erwähnung der

[59] Als Urheber dieser Philosophenschule gilt Xenophanes, der nach der Unterwerfung Joniens durch die Perser (545 v. Ch.) im italischen Elea eine zweite Heimat fand.

Physik Epikur's aus zweierlei Gründen unerläßlich. Das berühmte Lehrgedicht des römischen Dichter-Philosophen Titus Lucretius Carus: De rerum natura, von der Natur der Dinge, ein Werk voll feinsinniger Naturbeobachtung, ist vom Geiste Epikur's durchweht. Und als nach dem Niedergange der kirchlichen Philosophie des Mittelalters, der Scholastik, mit dem Beginn des 17. Jahrhundertes das Feld frei wurde für naturwissenschaftliches Denken und Forschen, wagte der französische Probst und Physiker Gassendi[60] (1592—1655), das System Epikur's, der bis dahin der kirchlichen Orthodoxie unter den heidnischen Philosophen am hassenswertesten schien, ans Tageslicht zu ziehen. Diese kühne Geistestat Gassendi's bahnte jenen Weg an, auf welchem die Atomistik mit dem Aufblühen der Naturwissenschaften in den folgenden Jahrhunderten zu so durchgreifender Bedeutung gelangte. Aus dem imposanten Lehrgedicht des Lucretius Carus strömt uns eine Fülle von Beobachtungen, voll von überraschender Feinheit, entgegen, mit denen der Autor seine Ansicht von dem Entstehen und Vergehen der Dinge durch Sammlung, resp. Zerstreuung unsichtbarer Teilchen stützt. Gewänder, am brandenden Gestade ausgebreitet, werden feucht, sie trocknen wieder in der Sonne, ohne daß man die Wasserteilchen kommen und gehen sah. Ein Ring wird, am Finger getragen, mit den Jahren dünner, der Fall des Tropfens höhlt den Stein, die Pflugschar verliert ihre Schärfe im Acker, und das Straßenpflaster nützt sich unter den Fußtritten ab, ohne daß uns in jedem einzelnen Falle die verschwindenden Teilchen sichtbar würden. Die Natur wirkt daher durch unsichtbare Körper, die Atome.

An den Schluß unserer Betrachtungen der antiken Atomistik sei die Erwähnung des höchst interessanten Umstandes gesetzt, daß Theodor Gomperz in seinen „Griechischen Denkern"[61] die Meinung vertritt, daß vor Leukipp-Demokrit Denker unbekannten Namens aus der Schule des Pythagoras[62] nicht nur „das Leere", sondern auch ein „Analogon der Atome" bereits ersonnen hatten.

---

[60] Siehe das Kapitel: Die Korpuskulartheorie Robert Boyle's im Zusammenhange mit den Systemen Gassendi's und Descartes'. — [61] I. Band Seite 279. — [62] Pythagoras stiftete zu Kroton in Unter-Italien, wo er sich 529 v. Chr. ansiedelte, einen philosophisch-religiösen Bund.

Denn PARMENIDES, das Haupt der bereits genannten eleatischen Schule[63], kennt eine Doktrin, die nicht nur einen zusammenhängenden, stoffentblößten Raum, sondern desgleichen auch die gesamte Körperwelt durchziehende leere Zwischenräume annimmt. GOMPERZ bemerkt, daß die von diesen Zwischenräumen wie von einem Netz von Kanälen umschlossenen Stoff-Inseln (wenn wir so sagen dürfen) in ihrer Aufgabe und Bestimmung den Atomen des abderitischen Geistespaares mindestens sehr nahe kommen mußten. „So wird der Aufmerkende", fügt GOMPERZ hinzu, „auch hier organischen Ideenwachstums und jener Stetigkeit der Entwicklung inne, die den Wert wissenschaftlicher Leistungen erhöht, ohne doch das Verdienst ihrer Urheber ernstlich zu vermindern."

Zur Vervollständigung unseres Abrisses der antiken Atomistik wollen wir hinzufügen, daß nach spärlichen Nachrichten unter den jüngeren Pythagoreern EKPHANTUS[64] eine Lehre ersann, nach welcher die sinnlich wahrnehmbaren Körper aus unteilbaren Partikeln, den Atomen, sich zusammensetzen. Diese Atome bewegen sich im leeren Raume und sind durch drei Eigenschaften gekennzeichnet: durch die Größe, die Gestalt und die „Kraft", wobei jedoch über das Wesen dieser Kraft die näheren Belege nicht zu ermitteln sind. Die Anzahl der Atome ist begrenzt und nicht unendlich, die Ursache ihrer Bewegung ist eine göttliche Kraft, Geist oder Seele genannt. Der streng mechanistische Materialismus der LEUKIPP-DEMOKRIT'schen Atomistik, durch welchen dieses Natursystem der kirchlichen Philosophie des Mittelalters als die Quelle der ärgsten Ketzerei[65] erscheinen mußte, wird somit zugunsten eines übernatürlichen Eingriffes durchbrochen.[66] Auch der Name des HERAKLIDES PONTICUS[67] sei nicht ungenannt, ein persönlicher Schüler PLATO's[68], über dessen atomistische Ansichten die Nachrichten desgleichen spärlich fließen. Nach HERAKLIDES sind als Grundbestandteile alles Körperlichen kleinste Körper anzu-

[63] Siehe Seite 40. — [64] ZELLER a. a. O. I/458. 4. Aufl. — [65] Siehe das Kapitel: Aristotelische Naturauffassung und Atomistik Seite 77. — [66] Die Voraussetzung kleinster Körper und Raumteilchen wird auch dem DIODORUS KRONUS beigelegt. Er gehört der sokratischen Schule, speziell deren megarischem Zweige an. Siehe ZELLER a. a. O. II/1, Seite 228, 3. Aufl. — [67] ZELLER a. a. O. II/1, Seite 885, 3. Aufl. — [68] PLATO lebte 427—347 v. Chr.

nehmen, welche aus keinen weiteren Teilen zusammengesetzt sind, welche sich aber von den demokritischen Atomen dadurch unterscheiden sollten, daß sie voneinander Einwirkung erleiden, und somit nicht bloß in eine mechanische Verbindung, sondern in wirklichen Zusammenhang treten können. Mit EKPHANTUS trifft HERAKLIDES in der Überzeugung zusammen, daß die Atome durch die göttliche Vernunft zur Welt gestaltet seien. Beide Philosophen bewegen sich somit in jener Richtung der Naturauffassung, welche ANAXAGORAS[69] mit seiner „Nus"-Lehre angebahnt hatte.[70]

Unsere Betrachtungen der antiken Atomistik haben es nicht an Hinweisen auf den Umstand ermangeln lassen, daß das Interesse, mit welchem die denkende Naturbeobachtung in ihrer Frühzeit der Frage nach der Konstitution der Körper sich zuwendet, wesentlich philosophischen Charakters ist, das heißt im Streben nach einer umfassenden Weltanschauung seinen Ursprung besitzt und lediglich im Rahmen dieser Weltanschauung seine Befriedigung findet. Das rein naturwissenschaftliche, das physikalische Interesse tritt erst in spätantiker Zeit im Bunde mit dem praktischen Bedürfnis auf, die Körperwelt technisch zu beherrschen. So finden wir atomistische Vorstellungen bei dem berühmten Mechaniker HERON VON ALEXANDRIEN (um 100 v. Chr.). Die Erscheinung der Verdichtung und Verdünnung der Luft und andere Vorgänge finden ihre Deutung durch die Annahme, daß alle Körper aus kleinen Körpern sich zusammensetzen, zwischen denen leere Räume eingestreut sind, von kleinerem Umfange als die Körperchen selbst. HERON läßt es an Beweisen für seine Anschauungen nicht fehlen. So geht ein Teil der Lichtstrahlen durch

---

[69] Siehe Seite 35. — [70] Die Angabe, DEMOKRIT habe seine Atomenlehre einem uralten phönizischen Philosophen MOCHUS zu verdanken, ist nach ZELLER (a. a. O. I, 765, 4. Aufl., Fußnote) nicht stichhaltig. Zwar läßt sich nicht bezweifeln, daß eine Schrift unter dem Namen dieses MOCHUS bestanden hat, wenn aber in dieser Schrift eine Atomenlehre, wie die demokritische, vorkam, so folgt daraus nur, daß ihr Verfasser den abderitischen, nicht daß dieser den phönizischen Philosophen benützt hat, dem ohnehin nicht bloß DEMOKRIT, sondern auch schon LEUKIPP gefolgt sein müßte. „Die Wurzeln der Atomenlehre," bemerkt ZELLER, „liegen in der früheren griechischen Wissenschaft so klar zu Tage, daß wir nicht daran denken können, sie aus der Fremde herzuleiten."

Wasser ungehindert hindurch, da das Wasser eben Poren besitzt, während ein anderer Teil Reflexion erleidet, da er auf die Wasserkörperchen selbst trifft. Der römische Techniker Vitruv, Kriegsbaumeister unter Cäsar und Augustus, erklärt das Brennen und Löschen des Kalkes durch die atomistische Zusammensetzung der vier Grundstoffe, aus denen die Steine je nach ihren Eigenschaften in verschiedener Mischung bestehen.

Neben der Technik ist es die Heilkunde, in deren Interessenkreise das Stoffproblem mit der Frage nach der Zusammensetzung des menschlichen und tierischen Körpers Geltung erlangt. So stellt Asklepiades von Bithynien, als Zeitgenosse des Cicero genannt, die Lehre auf, daß der Körper aus unzähligen, durch die Verbindung von Korpuskeln (Körperchen) gebildeten Kanälen bestehe, auf deren normaler Weite — durch die Größe, Menge, Anordnung und Bewegung der Korpuskeln bestimmt — die Gesundheit beruhe. Neben der medizinischen Autorität des Hippokrates und Galen, deren Lehren im streng aristotelischen Geiste gehalten sind und die Atomistik heftig befehden, findet das System des Asklepiades mit seiner atomistischen Grundlage durch das berühmte, medizinische Lehrbuch des Caelius Aurelianus unter den Mönchen des Mittelalters weite Verbreitung. Während der Herrschaft aristotelischer Naturauffassung sickert so dennoch auf Nebenwegen eine, wenn auch spärliche, so doch stetige Tradition atomistischer Lehren durch, die mit der Regeneration aller Wissenschaft im 17. Jahrhundert zu neuem Leben erwachen sollten.



PLATO's Theorie der Materie und die Elementenlehre des ARISTOTELES.

Die Entstehung der Atomistik und ihre Fortbildung in antiker Zeit sind uns nun zur Genüge bekannt. Wollen wir den Lauf jenes gewaltigen Geistesstromes, der bis zur Stunde auf das weite Feld der Naturwissenschaft befruchtend wirkt, von seiner Quelle ab weiter verfolgen, dann sehen wir uns bemüßigt, unserem bisherigen, engen Ausschnitte aus der hellenischen Naturphilosophie die kurze Betrachtung der übermächtigen Gegnerschaft einzufügen, welche der Atomistik in jenem grandiosen Systeme erwuchs, das den Heros antiken Denkens: ARISTOTELES, zum Urheber hat. In notwendigem Zusammenhange hiermit mag auch in flüchtigen Umrissen die Naturlehre skizziert werden, welche PLATO, der Lehrer des Stagiriten[71], schuf. Die Kenntnis der aristotelischen Gegnerschaft und ihres historischen Schicksals wird uns das nötige Verständnis für jenen entscheidenden Sieg erschließen, welchen die materialistisch-mechanistische Naturauffassung, deren gewichtiges, logisches Instrument die Atomhypothese ist, über die aristotelische Naturauffassung errang. Über die Trümmer der Autorität des großen Stagiriten hinweg schuf dieser Sieg Bahn für die Entwicklung der modernen Naturwissenschaften, insonderheit der Chemie.

Die Flut von Jahrhunderten trennt unser heutiges naturwissenschaftliches Denken von antiker Naturauffassung. Fremdartig und seltsam mutet den Empiriker von heute die Denkweise jener Zeiten an, dort, wo sie das Verständnis von Naturdingen erschließen soll; auf wunderlichen Irrwegen des Gedankens scheinen der Stagirite und desgleichen sein Lehrer PLATO ihrem Ziele, die Mannigfaltigkeit des Naturgeschehens im großen Zusammenhange zu erfassen, zuzustreben. Auf diesem uns so fremd gewordenen

[71] ARISTOTELES, geboren zu Stagira in Thracien 384 v. Chr., gestorben zu Chalcis auf der Insel Euböa 322.

Boden, der Pflanzstätte jeglichen Wissens, an die auch noch unser heutiges Naturwissen durch mannigfache, gedankliche Bande geknüpft ist, einigermaßen festen Fuß zu fassen, soll das Ziel unserer nächsten Bemühungen sein.

Unsere Betrachtungen jenes Bruchteiles aus dem monumentalen Geisteswerke des Stagiriten soll des flüchtigen Hinweises auf die geistigen Bande nicht ermangeln, welche die aristotelische Denkrichtung mit den übrigen Ideenkreisen der klassischen Epoche griechischer Philosophie verbinden. Wir nannten vorhin SOKRATES, PLATO und ARISTOTELES[72] als die Sterne jener Epoche. Unsere Darlegungen aristotelischer Naturlehren müssen notgedrungen am Werke PLATO's anknüpfen, denn erst einige Kenntnisse über die Ideenlehre PLATO's, des Schwerpunktes platonischer Philosophie, vermögen uns das Verständnis der aristotelischen Physik zu erschließen. Unsere kurze Darlegung der Ideenlehre PLATO's mag jedoch nicht nur einzig und allein die Vorstufe zur späteren Betrachtung der aristotelischen Elementenlehre bilden. PLATO selbst hat in dem einzigen Dialoge, den er Naturspekulationen widmete, dem „Timäos", wenn auch nur halb als zeitverkürzendes Geistesspiel, eine vollständige Anleitung zu einer Korpuskulartheorie gegeben. Die vielfach mythischen Spekulationen des „Timäos" haben in der Folge nachhaltigen Einfluß auf die dunklen Vorstellungen ausgeübt, welche die Alchemisten in den ersten Jahrhunderten unserer Zeitrechnung von der Zusammensetzung und der Umwandelbarkeit der Metalle hegten.[73] Auch die Physik PLATO's vermag nur im Rahmen der Ideenlehre gewürdigt zu werden; daher möge im Anschlusse an die Ideenlehre ein flüchtiger Einblick in jene Stellen des „Timäos" sich uns eröffnen, welche korpuskulare Anschauungen betreffen, und sodann die Elementenlehre des Stagiriten der notwendigen Betrachtung unterzogen werden.

Der Geistesrichtung PLATO's, des „eingefleischten Dialektikers, des streng abstrakten Denkers und großen Sophisten"[74], gemäß sind die Begriffe[75] der eigentliche und ursprüngliche Inhalt der

---

[72] Siehe Seite 34. — [73] Siehe das Kapitel: Das Wesen der Alchemie und das Stoffproblem innerhalb ihrer griechisch-alexandrinischen Phase. — [74] LEWES: Geschichte der Philosophie von THALES bis COMTE, I, 312, 1871. — [75] Vergleiche zum folgenden ZELLER a. a. O. II/1 S. 541 ff., 3. Aufl., sowie ZELLER: Grundriß der Geschichte der griechischen Philosophie. S. 121 ff., 2. Aufl.

Philosophie, da sie allein das wahrhaft Seiende, das Wesen der Dinge zum Inhalt haben. Nur das begriffliche Wissen vermag eine wahre Erkenntnis zu gewähren. Wenn es jedoch überhaupt ein Wissen geben soll, so muß es auch einen festen und unveränderlichen Gegenstand des Wissens geben, einen solchen, der nicht bloß für uns und durch uns, sondern an und für sich ist; nur das Unveränderliche kann erkannt werden, was dagegen in beständiger Veränderung begriffen ist, dem können wir keinerlei Eigenschaft beilegen. Während die sinnlich wahrnehmbaren Eigenschaften der Dinge unserer Außenwelt im unergründlichen Wechselreichtum durcheinanderfluten, erscheinen sie als das Vergängliche, Unklare und Unwirkliche; schon Heraklit[76] hatte ja den unaufhörlichen Wechsel der Dinge, die Unbeständigkeit alles Einzelnen als das allgemeinste Weltgesetz, die Welt nur als ein in unablässiger Veränderung begriffenes, in immer neue Gestalten sich umsetzendes Wesen erkennen gelehrt. Wahres und ursprüngliches Sein, so verkündet nun Plato, komme nur dem in den Begriffen Gedachten, nur den Formen der Dinge, den Ideen zu. Die Einzeldinge vergehen, was ihnen jedoch gemeinsam ist, der Begriff, die Zugehörigkeit zu einem Allgemeinen oder der Gattung, ist bleibend. Dieses Allgemeine der Dinge, welches die Idee ist, denkt sich nun Plato von der Erscheinungswelt gesondert als für sich seiende Substanz[77], dieses Wort im ursprünglichen, aristotelischen Sinne genommen, wonach es überhaupt etwas für sich Bestehendes bedeutet, das keinem anderen als Teil oder Eigenschaft innewohnt, etwas, das zu seiner Existenz keines von ihm selbst verschiedenen Substrates bedarf. Das Schöne, das Wahre ist nicht nur in den einzelnen Dingen vorhanden, das Schöne und das Wahre sind, abstrakt genommen, für sich bestehende Wesenheiten. Plato hatte somit in seiner Ideenlehre[78] jenen Schritt über das sinnenfällige Wesen der Dinge hinaus zum unsinnlichen Wesen der Dinge, als dem wahrhaft Seienden, getan, jenen Schritt, der in der Folge jeder gesunden, naturwissenschaftlichen Empirie verhängnisvoll werden mußte. Im Gegensatze zur sinnenfälligen

[76] Vergleiche Seite 7. — [77] Vergleiche weiter oben. — [78] Die Genesis der Ideenlehre Plato's führt einerseits auf die Philosophie Heraklit's und der Eleaten, andererseits auf die sokratische Philosophie zurück.

Seite der Dinge wurde der Begriff, die Idee der Dinge, ein Akt des Denkens, zu einer höheren Art des Seins gestempelt, zu jener Art des Seins, durch welche die Einzeldinge erst zur wahren Wirklichkeit gelangen. So sinkt die Welt der sinnlichen Erfahrung zum bloßen Schein herab, über welcher die Begriffe als die wahren Realitäten und alleinigen Gegenstände des Wissens stehen. „Der Verflüchtigung des Stoffes trat die Verfestigung, fast möchte man sagen die Verstofflichung der Begriffe gegenüber."[79]

Diesen flüchtigen Andeutungen über den Inhalt der Ideenlehre zunächst, seien einige Punkte der Lehre PLATO's von der „Materie" berührt, da fundamentale Gedanken aus der Frühzeit der Alchemie an diese Lehre anknüpfen. Der Welt der Ideen als dem wahrhaft Seienden gegenüber steht das sinnliche Dasein der Dinge als bloßes Schatten- und Zerrbild des wahren Seins; denn die sinnliche Erscheinung der Dinge ist nur ein Mittleres zwischen Sein und Nichtsein, sie ist ein solches, dem nur ein Übergang vom Sein zum Nichtsein und vom Nichtsein zum Sein, nur ein Werden, nie ein Sein zukomme. In der sinnlichen Erscheinung der Dinge stellt sich nach dem Ausspruche PLATO's die Idee nie rein dar, sondern immer mit ihrem Gegenteil vermischt, nur verworren, in eine Vielheit von Einzelwesen zerschlagen und unter der materiellen Hülle versteckt. Woher nun diese Verunstaltung der Idee in der Erscheinung? In den Ideen selbst kann der Grund hierfür nicht liegen, denn wenn diese auch miteinander in Gemeinschaft treten, so bleiben sie doch darin für sich, ohne sich mit anderen zu vermischen, jede in ihrem eigenen Wesen: keine Idee kann sich mit einer anderen ihr entgegengesetzten verbinden oder in dieselbe übergehen. Die sinnlichen Dinge nehmen jedoch zum Unterschiede von den Ideen nicht bloß übereinstimmende, sondern auch entgegengesetzte Beschaffenheiten in sich auf. Um mithin das Sinnliche als solches zu erklären, muß ein eigentümliches Prinzip angenommen werden, und dieses Prinzip muß das reine Gegenteil der Idee sein, denn gerade der Widerspruch der Erscheinung gegen die Idee soll von ihm hergeleitet werden. Es muß den Grund für das Nichtsein, die Geteiltheit, die Veränderlichkeit der Erscheinung und nur hierfür enthalten, denn was

[79] GOMPERZ: „Griechische Denker" II/321, 2. Aufl.

reales, einheitliches und beharrliches an ihr ist, das stammt ausschließlich von der Idee her. Ist die Idee das einheitliche und unveränderliche Wesen der Dinge, so muß dieses Prinzip das Wesen der absoluten Veränderung in sich schließen. Dieses Prinzip ist nun das, was mit einem Ausdrucke, welcher der Reihe der philosophischen Kunstausdrücke des ARISTOTELES und nicht der PLATO's entnommen ist, in der Regel als die platonische „Materie" bezeichnet wird. Am ausführlichsten schildert der „Timäos" das Wesen dieses Prinzipes, wenn auch dieser Dialog — als „physikalisches Märchen" ist sein Inhalt bezeichnet worden (GOMPERZ) — in seinen mythischen Zügen nur schwer die eigentliche Meinung PLATO's erkennen läßt. PLATO unterscheidet im „Timäos" das urbildliche und sich selbst gleiche Wesen, die Ideen, das, was ihnen nachgebildet ist, die sinnliche Erscheinung, und als drittes dasjenige, was die Grundlage und gleichsam den mütterlichen Schoß für alles Werden bilde, das gemeinsame, das allen körperlichen Elementen und allen bestimmten Stoffen zugrunde liege, und in dem unaufhörlichen Fluß aller dieser Formen, im Kreislauf des Werdens, sich als ihr bleibendes Substrat durch sie alle hindurchbewege. Unser Interesse knüpft sich nun in erster Linie an jene Stellen des „Timäos", welche der Annahme Raum geben, PLATO habe die Grundlage des sinnlichen Daseins als stoffliches Substrat betrachtet. Diese Grundlage wird als dasjenige bezeichnet, in dem alle Stoffe werden und in das sie sich auflösen, sie wird mit der Masse verglichen, aus welcher der Künstler seine Figuren bildet, auch von einem Sichtbaren[80] ist die Rede, das der Weltenschöpfer nicht in Ruhe, sondern in ungehöriger und ordnungsloser Bewegung vorfand. Des näheren wird diese Grundlage als dasjenige erläutert, „was alle Körper in sich aufnimmt; dieses ist als das stets Selbe zu bezeichnen, denn es tritt aus seinem eigenen Wesen durchaus nicht heraus". „Darum muß auch dem alle Gattungen in sich aufzunehmenden Bestimmten alle Gestaltung fremd sein, gleichwie man bei wohlriechenden Salben zuvörderst durch Kunst die zur Aufnahme der Gerüche bestimmten Flüssigkeiten soviel wie möglich geruchlos zu machen sucht. Wer es aber unternimmt, in etwas Weichem Gestalten zu

[80] Timäos, Übersetzt von H. MÜLLER, 1857 S. 148.

formen, der läßt durchaus keine Gestalten sichtbar bleiben, sondern ebnet den Stoff bis zur möglichsten Glätte. Ebenso ziemt es also auch dem, was da bestimmt ist, häufig die Nachbildungen von allem, auch dem unvergänglich Seienden, in sein ganzes Wesen treu aufzunehmen, ihm ziemt es, aller Gestaltung bar zu sein."[81] Diese Stellen des „Timäos" deuten im Vereine mit noch einigen anderen Sätzen die Vorstellung eines form- und qualitätslosen Substrates aller Werdeprozesse an, einer Urmaterie, aus welcher die Dinge der Sinnenwelt hervorgegangen sind. Mit diesen Andeutungen ist jedoch das Wesen der platonischen Materie keineswegs auch nur annähernd umfaßt; denn noch ist die Streitfrage nicht geschlichtet, ob PLATO's Urmaterie nichts anderes als den Raum bedeutet[82], demnach jenes dritte, was neben den Ideen und der Erscheinungswelt als die allgemeine Grundlage der letzteren gefordert wird. Die rein stoffliche Auffassung der platonischen Materie, die Idee von einer Urmaterie, die in die Vielzahl der Stoffe sich wandelt, findet ihren Eingang in jene Vorstellungen von der Natur der Stoffe, welche der Frühzeit der Alchemie, den ersten Jahrhunderten unserer Zeitrechnung, angehören. Die mystischen Spekulationen der griechisch-alexandrinischen Alchemisten bewegen sich sowohl dem Geiste als auch der Ausdrucksweise nach im Ideenkreise des „Timäos". BERTHELOT[83], der moderne Historiker, dessen unermüdlichen Bestrebungen wir wertvolle Bereicherungen unserer Kenntnisse aus der Vorzeit der chemischen Forschung verdanken, hat des eingehenden die geistigen Fäden bloßgelegt, welche die Spekulationen eines AENEAS VON GAZA, eines ZOSIMOS und SYNESIOS, eines PELAGIUS und STEPHANOS mit den Naturlehren PLATO's verknüpfen. In den ersten Stadien denkender Naturbeobachtung sprießt der Gedanke vom Dasein eines Urstoffes auf; ihm gesellt sich zu gleicher Zeit der Gedanke von der Unzerstörbarkeit des Stoffes hinzu. Wie erinnerlich, fand dieses Gedankenpaar seine nähere Beleuchtung im Rahmen unserer Betrachtungen des Satzes von der Konstanz der Materie.[84] Anscheinend bildet die Physik PLATO's die Pforte,

---

[81] a. a. O. S. 170/171. — [82] Dieser Annahme stimmt namentlich ZELLER zu. Siehe hierzu GOMPERZ a. a. O. II/606, 2. Aufl. Anmerkung zu S. 484, § 4, Abs. 1, sowie BAEUMKER, a. a. O. S. 177 ff. — [83] Les origines de l'alchimie, S. 264 ff. — [84] Siehe Seite 6 ff.

durch welche die Idee der altjonischen Naturphilosophen von einem Urstoffe, aus dessen Umformungen die Unendlichkeit der Stoffgestaltungen hervorgeht, ihren Einzug in die Alchemie hält. Welch bedeutendes Interesse an dieses Erbe griechischer Naturspekulation im Bereiche unserer modernen, chemischen Anschauungen sich knüpft, mag des späteren seine nähere Erörterung finden.[85]

Der Lehre von der platonischen Materie zunächst, seien einige Worte jener Darstellung gewidmet, welche unser Philosoph von der Bildung der vier Elemente gibt, des Feuers und der Erde, des Wassers und der Luft. Auf zweierlei Wegen gelangt PLATO zur Entstehung dieser Elemente. Der erstere verläuft in rein teleologischer Richtung; die Zuversicht, daß die Natur in allen ihren Teilen dem ästhetisch Geordneten, dem Besseren zustrebe, beherrscht den Gedankengang PLATO's. Der zweite der beiden Wege führt zu einer physikalischen Ableitung der Elemente. Indem der Weltenschöpfer wollte, daß alles gut[86] und, soviel wie möglich nichts schlecht sei, brachte er, da er alles Sichtbare nicht in Ruhe, sondern in ungehöriger und ordnungsloser Bewegung vorfand, dasselbe aus der Unordnung zur Ordnung, da ihm diese besser schien als jene. „Das Gewordene muß aber ein Körperliches, ein Sichtbares und Betastbares sein. Nun dürfte wohl nichts je ohne Feuer sichtbar, noch, ohne ein Festes zu sein, betastbar, noch zu einem Festen ohne Erde werden. Daher verband der Gott zuerst, indem er den Leib des Alls gestaltete, Feuer und Erde. Nur zwei Bestandteile aber ohne einen dritten wohl zu verbinden, ist nicht möglich; denn inmitten beider muß ein beide verknüpfendes Band entstehen. Das schönste aller Bänder ist das, welches das Verbundene und sich selbst so viel wie möglich zu Einem macht. Am besten vermag das seiner Natur nach ein gegenseitiges Verhältnis zu bewirken." Hätte man es bloß mit Flächen zu tun, dann würde ein einziges Mittelglied genügen, um die schönste Verknüpfung der beiden Endglieder, des Feuers und der Erde, durch die Proportion zu bewirken; da es sich aber um Körper handelt, seien zwei Mittelglieder nötig — das Warum ist ein vielumstrittenes Problem der „Timäos"-Erklärung —, und so

[85] Siehe das Kapitel: Urstoffhypothese und Regel von AVOGADRO-AMPÈRE. — [86] Timäos a. a. O. S. 148 ff.

gelangt PLATO auf diesem Wege der Deduktion zur empedokleischen Vierzahl der Elemente[57], indem Wasser und Luft die beiden geforderten Mittelglieder bilden. Feuer, Wasser, Luft und Erde bilden eine Proportion untereinander derart, daß sich das Feuer zur Luft verhält, wie das Wasser zur Erde. Auf Grund einer pseudo-mathematischen Analogie werden die vier Elemente abgeleitet, denn inwieferne zwischen den vier stofflichen Elementen ein Verhältnis ähnlicher Art stattfinden soll, wie zwischen den vier Gliedern einer arithmetischen Proportion, bleibt im Dunklen.

Viel merkwürdiger ist die physikalische Ableitung der vier Elemente im „Timäos". Diese zweite Art der Ableitung macht von geometrischen Analogien Gebrauch; es sei daher der eigentliche Sinn des Heranziehens von mathematischen Vorstellungen zur Ableitung der vier Elemente kurz gestreift. Mathematische Formen, Figur und Zahl, lassen sich vom Denken klar erfassen, sie sind ausschließlich nur im Denken vorhanden und daher im Lichte der Ideenlehre PLATO's ewig und wandellos, von wahrer Realität des Seins. In der strengen Gesetzlichkeit der mathematischen Figuren haben die Dinge Anteil an der Vollkommenheit der Ideen, und soweit sie daran Anteil haben, sind sie mit Gewißheit zu erkennen. Die Realität, welche PLATO der Idee zuerkannt hatte, zeigt sich wieder im mathematischen Gesetz. PLATO erkennt in den Zahlen und den mathematischen Verhältnissen das Bindeglied zwischen der Idee[58] und der Erscheinung, sie stellen uns die Ideen als das Maß des Körperlichen und Räumlichen dar. Die Zahlen eigneten sich dieser Art für PLATO vorzugsweise zum Schema der Ideen, und wenn an die Stelle des rein begrifflichen ein symbolischer Ausdruck gesetzt werden sollte, so lag es am nächsten, die Idee und ihre Bestimmungen in arithmetischen Formeln auszudrücken. Die physikalische Ableitung der vier Elemente knüpft nun an die Grundlehren der Pythagoreer, speziell an die Bestimmungen von der Gestalt der Körper an, welche der Pythagoreer PHILOLAUS, ein Zeitgenosse DEMOKRIT's, gegeben hatte. PYTHAGORAS[59] (geb. um 580—570 v. Chr.) und seine Schüler sind bekanntlich als die Begründer der wissenschaftlichen Ton-

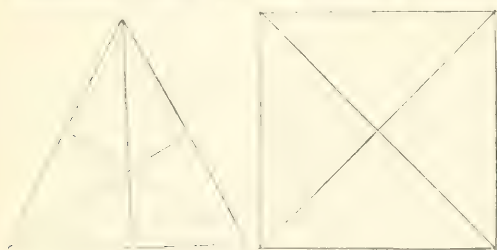
[57] Siehe Seite 35 ff. — [58] ZELLER a. a. O. II/1 S. 568, 3. Aufl. Vergl. auch COHEN: PLATON's Ideenlehre und die Mathematik. — [59] ZELLER a. a. O. I/254, 4. Aufl.

lehre zu bezeichnen. Indem die den Ton erzeugende stoffliche Ursache, die schwingende Saite, gemessen wurde, war eines der bisher unfaßbarsten und flüchtigsten Phänomene in den Kreis des räumlich Meßbaren gebannt, war es durch die Zahl, das Maß alles Räumlichen, gleichsam fixiert worden. Neben den Verhältnissen der Töne sind es namentlich jene der Himmelskörper, welche von gewissen Zahlen und Zahlenverhältnissen beherrscht sind. Der Einblick in die an Zahlenverhältnisse gebundene Gesetzmäßigkeit des Naturgeschehens spornt das ungeübte realistische Denken im Verein mit der Phantasie an, die Zahl, den bloßen Ausdruck für die Gesetzmäßigkeit im Naturbereiche, an Stelle des eigentlichen Wesens der Dinge zu setzen. Wie nun die Zahl das Wesen der Dinge ist, gleichsam das Grundelement, aus welchem die Dinge aufgebaut sind, so sind auch die Figuren und das Körperliche unmittelbar aus gewissen Zahlen abzuleiten. Mit der Figur des Körpers mußten die Pythagoreer aber ihrer ganzen Denkweise gemäß das Körperliche selbst abgeleitet glauben, und so ließen sie den Körper aus den ihn umgebenden Linien und Flächen ebenso bestehen, wie die Linien und Figuren aus Zahlen. Von der Gestalt der Körper sollte nun nach PHILOLAUS ihre elementarische Beschaffenheit abhängen. Von den fünf regelmäßigen Körpern wies er nämlich der Erde den Würfel zu, dem Feuer das Tetraeder oder die Pyramide, der Luft das Oktaeder, dem Wasser das Ikosaeder, dem fünften, alle übrigen umfassenden Elemente, dem Äther, wies er endlich das Dodekaeder zu. Diese Zuweisung von Grundformen an die Elemente hat ohne Zweifel keinen anderen Sinn, als daß die kleinsten Bestandteile dieser verschiedenen Stoffe die angegebene Gestalt besitzen. PHILOLAUS setzte in dieser Art der abderitischen Atomistik eine pythagoreische entgegen.

Diese Annahme des PHILOLAUS legt nun PLATO seiner physikalischen Ableitung der Elemente zugrunde, mit Ausnahme des Dodekaeders, dem er nicht die Bedeutung eines Elementes zuerkennt. Der Erde, als dem unbeweglichsten und bildsamsten unter den vier Elementen, ist jene Grundform zugewiesen, welche die „festesten Grundflächen“ hat: der Würfel.[90] Der Körper von

[90] Timäos a. a. O. S. 176,77.

geringstem Umfange und der schärfsten Spitze kommt den Urbestandteilen des Feuers zu. Dazwischen stehen die körperlichen Grundformen des Wassers und der Luft, das Oktaeder und das Ikosaeder. Zweifelsohne weist die züngelnde Gestalt der Flamme auf die Pyramidenform hin, während die schwere Beweglichkeit des Würfels gerade diesen Körper als Grundform des Erdelementes geeignet erscheinen läßt. „Daß erstens Feuer, Erde, Wasser und Luft Körper sind, das sieht wohl jeder ein; aber jede Gattung von Körpern hat auch Tiefe, und es ist ferner durchaus notwendig, daß die Tiefe das Wesen der Fläche in sich schließt, die ebene Seitenfläche aber besteht aus Dreiecken."[91] PLATO führt somit die Elemente auf eine geometrische Grundlage zurück, indem er sie nicht aus körperlichen Atomen, sondern aus Flächen und in letzter Beziehung aus Dreiecken aufbaut. Von den zahllosen Dreiecken wird zweien der Vorzug zuerkannt, aus denen sich die Elemente zusammenfügen. Beide sind rechtwinklig, das eine gleichschenklig, das andere ungleichseitig. Unter den ungleichseitigen ist das schönste jenes, dessen kleinere Kathete die Hälfte der Hypotenuse beträgt, daher wird es zur Bildung der vier Elemente, „die durch ihre Schönheit ausgezeichneten vier Gattungen der Körper", bevorzugt. Je sechs dieser vermeintlich schönsten ungleichseitigen Dreiecke bilden ein gleichseitiges Dreieck, je vier gleichschenklig-rechtwinklige setzen sich zum Quadrat zusammen (Fig. 1). Aus sechs Quadraten baut sich der Würfel auf, aus vier gleichseitigen Dreiecken das Tetraeder, aus acht das Oktaeder, aus zwanzig das Ikosaeder. Die Grundbestandteile der Erde sind demnach gleichschenklig-rechtwinklige Dreiecke, jene der übrigen drei Elemente ungleichseitig-rechtwinklige Dreiecke von der charakterisierten Art. Bei der Zerteilung und Zersetzung der Elemente im Kampfe des einen mit dem anderen vermögen sich nun die letzteren Dreiecke neuerdings zu anderen


Fig. 1.

[91] a. a. O. S. 174.

Polyedern zusammenzuschließen, somit sind Feuer, Luft und Wasser ineinander verwandelbar; gleichschenklig-rechtwinklige Dreiecke jedoch liefern kein anderes reguläres Polyeder, daher können sich die Grundteilchen der Erde nur wiederum zu Erde zusammenschließen.

Für die entwicklungsgeschichtliche Betrachtung der Atomistik ist es von Wesenheit, daß die platonische Naturlehre mit tatsächlichen kleinsten Körpern, mit Korpuskeln, rechnet, aus denen sich die Elemente zusammensetzen. Jedoch sind diese Korpuskeln noch teilbar; durch die gegenseitige Einwirkung der Elemente lösen sie sich in unteilbare Flächen auf, und erst diesen Elementarflächen, den Urdreiecken, kommt die gleiche Rolle zu wie den Atomen LEUKIPP-DEMOKRIT's. Nicht körperliche Atome, sondern Flächen sind die letzten Einheiten der Elemente; diese Tatsache liefert ein kräftiges Argument zugunsten der Anschauung, daß unser Philosoph den Elementen nicht einen raumerfüllenden Stoff, sondern den Raum selbst zugrunde legt, aus welchem sich diese bestimmten Körper dadurch gestalten sollen, daß gewisse Teile des Raumes mathematisch begrenzt und in bestimmte Figuren gefaßt werden.[92] Indem PLATO, dem Grundzuge seines Denkens gemäß, die Fläche als mathematische Abstraktion für etwas Reales nimmt, für realer selbst als die stoffliche Materie, operiert er mit wirklichen Flächen, die er wie flache Körper, wie Lamellen eines Stoffes behandelt. In diesem Sinne sind somit die Korpuskeln nicht bloß durch Flächen begrenzt, sondern aus Flächen zusammengesetzt[93], ein Stoff, der die körperlichen Figuren annimmt, ist nicht vorhanden. „Das alles aber müssen wir so klein denken, daß jedes Einzelne jeder Gattung seiner Kleinheit wegen von uns nicht gesehen wird, sondern, daß wir nur die Massen vieler zusammengehäufter erblicken."[94] Unter den Körperteilchen

[92] Um die Schwierigkeiten zu kennzeichnen, welche sich der klaren Erfassung der korpuskularen Elementenlehre PLATO's entgegensetzen, sei folgendes Urteil angeführt: „Die Rätselfrage, ob PLATON das Innere seiner Urkörper leer, oder womit er es erfüllt dachte, läßt sich kaum anders als dahin beantworten, daß jene kleinsten Dreiecke ungeformte Urmaterie umschlossen, deren Annahme noch durch mehrere andere sonst unlösbare Probleme der Timäos-Physik gefordert wird." GOMPERZ a. a. O. II 491, 2. Aufl. — [93] ZELLER a. a. O. II, 1, S. 678, 3. Aufl. — [94] Timäos S. 177.

der Elemente werden die des Wassers den größten Umfang besitzen, da sich dieselben aus 120 Urdreiecken aufbauen, die Teilchen der übrigen Elemente folgen in der entsprechenden Reihe. Die Größe der Urdreiecke vermag jedoch selbst innerhalb eines und desselben Elementes zu wechseln, wodurch die Elementarkörperchen, wenngleich sie aus derselben Anzahl von Urdreiecken sich zusammensetzen, von verschiedenem Rauminhalt sind. Dadurch ist von aller Anfang an eine Verschiedenheit in den Stoffen bewerkstelligt, welche in Verbindung mit ihren ungleichen Mischungsverhältnissen die unendliche Mannigfaltigkeit der Dinge vollständig erklärt.

Jedes Element besitzt seinen natürlichen Ort im Weltganzen, in welchem es infolge seiner Kugelgestalt kein oben und unten, sondern nur ein außen und innen gibt. Aus seinem natürlichen Orte kann jedes Element nur mit Gewalt entfernt werden, dieser Gewalt setzt es aber um so größeren Widerstand entgegen, je größer seine Masse ist. Da nun von Natur aus jedem Einzelnen die Richtung zum Verwandten innewohnt, so besteht die Schwere in nichts anderem als in dem Widerstand gegen die Gewalt, die Verwandtes zu trennen sucht, oder in dem Streben, sich mit dem Verwandten zu vereinigen. „Indem wir nämlich auf der Erde einherschreiten, trennen wir von ihr erdige Stoffe und bisweilen selbst Erde, und erheben diese mit Gewalt und ihrer Natur, da beide nach dem Verwandten streben, entgegen in die ihnen ungleichmäßige Luft. Dieser Gewalt folgt aber nach dem Ungleichmäßigen leicht und eher das Kleinere als das Größere; darum haben wir jenes leicht genannt und den Raum, nach dem wir es hinziehen, oben, das diesem Entgegengesetzte dagegen schwer und unten."[95] Schwere und Leichtigkeit sind somit nur relative Begriffe, deren Bedeutung je nach den Standorten wechselt; auf der Erde erscheint das Erdige, in der Feuersphäre erschiene das Feuer als das schwerere. (Diese Darlegung der platonischen Begriffe: Schwere und Leichtigkeit, wird uns an jener Stelle von Wesenheit erscheinen, wo die Auffassung der Schwere zu Zeiten der Phlogistontheorie zur Betrachtung gelangt.)[96]

[95] Timäos a. a. O. S. 186. — [96] Siehe das Kapitel enthaltend: Die Phlogistontheorie und ihr Schicksal im Lichte der zeitgenössischen Auffassung von der Schwere.

„Der Umfang des Alls, der, nachdem er die verschiedenen Elemente in sich zusammenfaßte, kreisförmig ist und von Natur das Bestreben hat, in sich selbst zurückzukehren, drängt alles zusammen und gestattet nicht, daß ein leerer Raum übrig bleibe. Darum durchdringt vor allem das Feuer (die Wärme) alles, zweitens die Luft, als das an Feinheit zweite, und das übrige in demselben Verhältnisse; denn das aus den größten Bestandteilen Entstandene läßt bei der Zusammensetzung die größten Zwischenräume, das aus den kleinsten aber die kleinsten."[97] In den Erdklumpen öffnen sich den Teilchen des Feuers und der Luft ohne gewaltsames Hindurchzwängen weite Wege, da die Zwischenräume der erdigen Zusammensetzung größer sind als Feuer- und Luftteilchen. Die von Natur aus größeren Wasserteilchen jedoch müssen sich den Durchgang erzwingen, sie erzeugen daher Auflösung. So löst das Wasser aber nur das lose verbundene Erdige gewaltsam auf, das eng verbundene Erdige vermag nur durch das Feuer aufgelöst (geschmolzen) zu werden, denn nur dem Feuer steht der Zugang offen. Neben der Auflösung und Zersetzung der Körper durch Eindringen des einen Elementes in die Zwischenräume wird auch die Trennung der Korpuskeln in die Urdreiecke angegeben. So trennt nur das Feuer die engste Verbindung des Wassers, „die losere aber Feuer und Luft, die eine in den Zwischenräumen, die andere sogar in den Dreiecken (Urbestandteilen)".[98] Auf den Boden unserer heutigen Auffassungsweise übertragen, entspräche die erstere Art der Zerlegung, der Trennung der Körper in ihre Moleküle, die letztere der Spaltung der Moleküle in die Atome, oder es kämen in dem einen Falle die mechanische, in dem anderen die chemische Trennung in Betracht. Somit hat Plato die Umrisse einer vollständigen Korpuskulartheorie skizziert. Die Lehren der Atomistiker waren ihm wohl bekannt, doch er verhält sich im allgemeinen ihrer materialistischen Weltauffassung gegenüber schroff ablehnend. Die Idee, das stets Seiende, alles Entstehens Entbehrende und stets sich selbst gleich Bleibende[99], gilt es durch Nachdenken und Vernunft zu erfassen, von dem anderen dagegen, dem stets Werdenden, aber nimmerdar Seienden,

[97] Timäos a. a. O. S. 179 ff. — [98] a. a. O. S. 183. — [99] a. a. O. S. 146/47.

gilt es durch vernunftlose Sinneswahrnehmung eine Meinung sich zu bilden als von einem Entstehenden und Vergehenden, nie aber wirklich Seienden. Die Aussagen von dem Beharrlichen, Gewissen, dem Nachdenken Zugänglichen, müssen beharrlich und unveränderlich, ja auch so viel wie möglich unwiderlegbar und unerschütterlich sein, und in dieser Hinsicht nichts vermissen lassen; im Verhältnis zu diesen Aussagen kommt jenen von dem sinnlich Wahrnehmbaren, das nur ein Abbild, ein dem Beharrlichen Nachgebildetes ist, bloß Wahrscheinlichkeit zu. Derart sinken Untersuchungen, die sich der Sinnenwelt zuwenden, zum zeitkürzenden Spiel herab, denn „schafft sich jemand, indem er die Untersuchungen über das ewig Seiende ruhen läßt, und zu seiner Erholung über das Entstehen dem Wahrscheinlichen nachforscht, ein harmloses Ergötzen, so dürfte das wohl im Leben eine das Maß nicht überschreitende, vernünftige Unterhaltung gewähren.“[100]

Aus dem platonischen System ist das aristotelische zunächst herausgewachsen[101]; Aristoteles muß sich daher vor allem mit dem Systeme seines Lehrers vollständig auseinandersetzen[102] und die Gründe darlegen, welche ihn darüber hinausführen. So wendet sich seine eindringliche Kritik der platonischen Ideenlehre zu. Plato hatte, wie erinnerlich, in den Ideen das unsinnliche Wesen der Dinge von ihrer sinnlichen Erscheinung unterschieden. Aristoteles bekämpft zwar die Annahme, daß das unsinnliche Wesen ein außer den Dingen für sich bestehendes Allgemeines sei, auf das entschiedenste, doch jene Unterscheidung behält er aus den gleichen Gründen bei, auf welche schon Plato sie gestützt hatte: die unsinnliche Form kann allein Gegenstand der Erkenntnis, kann allein das Bleibende im Wechsel der Erscheinungen sein. Alles Sinnliche ist vergänglich und veränderlich, es ist ein Zufälliges, das so oder anders sein kann; das Wissen dagegen, lehrt

[100] a. a. O. S. 181. — [101] Zeller a. a. O. II/2, S. 292 ff., 3. Aufl. — [102] Vergleiche zum folgenden: Prantl: Aristoteles' acht Bücher Physik und Aristoteles' vier Bücher über das Himmelsgebäude und zwei Bücher über das Entstehen und Vergehen. Ferner Lewes: Aristoteles. Ein Abschnitt aus einer Geschichte der Wissenschaften etc. Deutsch von Carus. Die folgenden Zitierungen beziehen sich auf die Prantl'sche Übersetzung.

ARISTOTELES mit PLATO, bedarf eines Gegenstandes, der ebenso unveränderlich und notwendig ist, wie das Wissen selbst. Der Gegenstand des Wissens muß daher ein anderer sein, als die Dinge selbst. Methodisches Wissen aber gründet sich nach ARISTOTELES nur auf der Erkenntnis der ersten und einfachen Prinzipien, aus welchen die Dinge der Sinneswahrnehmung hervorgehen. So wird auch die Physik, die Wissenschaft von der Natur, zwar von den Dingen der Sinneswahrnehmung ihren Ausgang nehmen, jedoch ihre Schritte zu demjenigen lenken, woraus diese Dinge ursprünglich zusammengesetzt wurden, ihr Schwergewicht liegt in der Frage, wie das Seiende zu denken ist. Mit PLATO verweist ARISTOTELES das sinnlich Wahrnehmbare als trügerisch und wandelbar aus den Gefilden der Wissenschaft, nur das unsinnliche Wesen der Dinge, das Allgemeine ist erkennbar und eigentlicher Gegenstand des Wissens. Jedoch kommt dem Allgemeinen, nicht wie PLATO meint, eine gesonderte Wirklichkeit außerhalb allen Einzeldingen zu, denn das Allgemeine ist ja gerade allen Einzeldingen gemeinsam und wohnt daher dem Einzelnen inne. Nur das Einzelwesen ist Subjekt für sich, es kann nicht, wie das Allgemeine, von anderem als Prädikat ausgesagt werden, ihm kommt die Wirklichkeit des Seins zu, es ist für sich bestehende „Substanz“. Somit spitzt sich nun die Sachlage in dem Gegensatze zu, daß das Allgemeine zwar einzig und allein das Erkennbare ist, jedoch lediglich dem durch die Sinne auffaßbaren Einzelwesen die Realität des Seins zukommt. Und jene Frage, welche schon frühzeitig im Entwicklungsgange des griechischen Denkens sich regt: die Frage nach der Möglichkeit des Werdens, nimmt nun die Gestalt an, wie das Einzelwesen zur Realität des Seins gelangt, wodurch es ein bestimmtes Einzelding wird. Aus dem Seienden scheint nichts werden zu können, denn es ist schon, aus dem Nichtseienden nicht, denn aus nichts wird nichts. Alles Werden besteht vielmehr darin, daß ein „Stoff“ eine bestimmte „Form“ annimmt. Indem dasjenige, woraus etwas wird, weder ein Nichtseiendes, noch aber das sein kann, was erst daraus werden soll, bleibt nur übrig, daß es dem, was daraus werden soll, zwar der Möglichkeit, aber noch nicht der Wirklichkeit nach, gegeben ist.[103] Durch den

[103] Physik, S. 33 bis 51 enthält die nähere Entwicklung.

Stoff ist die Möglichkeit des Einzeldinges gegeben, die zur Wirklichkeit wird, indem die Form zum Stoff hinzutritt. Der Stoff im Sinne ARISTOTELES' — die lateinischen Übersetzer gebrauchten hiefür den Ausdruck „materia“ — ist somit grundverschieden von unserem heutigen, naturwissenschaftlichen Begriffe der Materie, der immer ein körperliches Ding betrifft. Innerhalb des aristotelischen Systems ist die Materie bloß ein relativer Begriff, das heißt der Stoff ist ausschließlich nur Stoff in Beziehung auf dasjenige, was durch den Hinzutritt der Form aus ihm werden soll. Der Marmor einer Statue ist der Stoff, die Idee der Statue ist die Form, aus beiden wird die wirkliche Statue. Doch die Statue kann noch immerhin Stoff sein, und zwar beispielsweise in Bezug auf den Giebel eines Tempels, den zu schmücken sie bestimmt ist, und umgekehrt kann auch der unbehauene Marmorblock Form sein, Form in Beziehung auf den Marmor, der noch ungebrochen im Schoße der Erde ruht. Mit dem Ausdruck „Materie“ bezeichnet somit ARISTOTELES den bloßen Umstand, daß irgend etwas die Möglichkeit in sich birgt, ein bestimmtes Einzelding zu werden; erst den Naturwissenschaften war es vorbehalten, in diese Vorstellungsweise ein körperliches Element hineinzutragen.

Zwischen zwei Grenzpunkten, der Möglichkeit und der Wirklichkeit, bewegt sich alles Werden und alle Veränderung. So erwächst der Physik die Aufgabe, den Übergang von der Möglichkeit in die Wirklichkeit in Betracht zu ziehen, wie er unsere Sinnenwelt hervorruft. ARISTOTELES nennt diesen Übergang, das Bestimmtwerden der Materie durch die Form: Bewegung.[104] Die Bewegung des Bauens zum Beispiel besteht darin, daß das Material, aus dem ein Haus werden kann, wirklich zu einem Hause wird. Natur ist alles, was in sich selbst das Prinzip der Bewegung besitzt[105]; alles, was von Natur aus ist, befindet sich entweder ganz oder nur zum Teile in Bewegung. Auch diese Auffassung der Bewegung ist der unserigen diametral entgegengesetzt. Ist Bewegung für uns eine räumliche Veränderung, welche durch eine Ursache bedingt ist, so liegt für ARISTOTELES in der Bewegung im allgemeinsten Sinne nichts Mechanisches, sondern sie ist die Vor-

[104] Physik S. 103 ff. — [105] a. a. O. S. 55 ff.

gang, durch welchen ein Zweck, ein Ziel, ein gesonderter Teil des Naturgeschehens seiner Verwirklichung zugeführt wird. Dieser Gegensatz wird keineswegs dadurch gemildert, daß ARISTOTELES die räumliche Bewegung allen anderen Arten der Bewegung, die er überdies nennt, als Bedingung zugrunde legt. Denn die Zu- oder Abnahme der Körper ihrer Größe nach: die quantitative Bewegung, die Verwandlung der Körper, der Wechsel ihrer Eigenschaften oder die qualitative Bewegung[106], und schließlich als viertes noch das Entstehen und Vergehen werden durch nähere Untersuchung in letzter Linie auf die räumliche Bewegung zurückgeführt. So besteht, um ein einziges Beispiel aus dieser Untersuchung anzuführen, die Zunahme oder das Wachstum[107] darin, daß zu einem irgendwie geformten Stoff anderer Stoff hinzutritt und die Form des ersten Stoffes annimmt; das Wachstum besteht daher in der Vermehrung der Materie beim Beharren der Form, desgleichen die Abnahme in der Verminderung der Materie unter Beibehaltung der Form. Trotz dieses hervorstechenden Charakters der räumlichen Bewegung ist jedoch ARISTOTELES weit davon entfernt, die Naturerscheinungen bloß mechanisch zu erklären, wie dies die Atomistik versucht hatte. Schon für die rein physikalischen Vorgänge reicht diese Erläuterungsweise nicht aus, da sich viele derselben nur als qualitative Veränderung, als Umwandlung der Stoffe, auffassen lassen. Die physikalische Betrachtung erschöpft nach ARISTOTELES überhaupt nicht den Gesamtbegriff der Natur; denn über den stofflichen Ursachen stehen die Endursachen, denen jene zu dienen haben, steht die Zwecktätigkeit der Natur.

Sehen wir nun zu, in welcher Weise ARISTOTELES in der tatsächlichen Mannigfaltigkeit der Körperwelt sich zurechtzufinden weiß. Als Einteilungsgrund dient ihm die räumliche Bewegung, insofern dieselbe einem bestimmten Zwecke entspricht.[108] Alle natürlichen Körper, sagt ARISTOTELES, sind der räumlichen Bewegung fähig. Alle räumliche Bewegung aber ist entweder geradlinig oder kreisförmig oder aus diesen beiden Richtungen zusammengesetzt.

---

[106] a. a. O. S. 243 und S. 429 ff. — [107] Über Entstehen und Vergehen S. 379 ff. — [108] Näheres siehe bei ZELLER a. a. O., II/2, S. 434. 3. Aufl. Die ausführliche Ableitung in: Über das Himmelsgebäude S. 19 ff. u. S. 241 ff.

Sind nun die Kreisbewegung und die geradlinige die ersten natürlichen Bewegungen, so muß es auch gewisse Körper geben, denen diese Bewegungen ihrer Natur nach zukommen, und eben dieses müssen die ursprünglichsten Körper sein; alle diejenigen dagegen, welche eine zusammengesetzte Bewegung haben, werden aus ihnen zusammengesetzt sein und die Richtung ihrer Bewegung von ihrem überwiegenden Bestandteile erhalten. Die geradlinige Bewegung kann nach entgegengesetzten Richtungen verlaufen, der Kreisbewegung jedoch ist keine andere entgegengesetzt, sie ist die vollkommenste aller Bewegungen. Der Körper, dessen Eigenschaft sie ist, wird daher ebenfalls ohne Gegensatz sein. Die Kreisbewegung allein ist ununterbrochen und endlos, der Körper, dem sie zu eigen ist, muß daher ebenso ungeworden und unvergänglich sein. Dieser Körper, der über allen Veränderungen hoch erhaben steht, ist der Äther, aus ihm sind die himmlischen Sphären und die Gestirne gebildet, er ist das Göttliche in der Körperwelt.

Gegensatzlos und unwandelbar steht dieser Äther der himmlischen Welt über dem Streit der vier Elemente, aus denen sich die irdische Welt in ihrer wechselvollen Vergänglichkeit zusammensetzt. Ist dem Äther die Kreisbewegung eigentümlich, so eignet ihnen die geradlinige Bewegung. Da die geradlinige Bewegung ebenso ursprünglich ist wie die Kreisbewegung, so muß es auch gewisse Körper geben, denen sie von Natur zukommt; und da sie wesentlich in den entgegengesetzten Richtungen nach unten und nach oben verläuft, so müssen wir zunächst zwei Körper annehmen, von denen sich der eine naturgemäß nach unten, der andere nach oben, jener gegen die Mitte, dieser gegen den Umkreis der Welt bewegt. Diese beiden Körper sind Erde und Feuer. Was sich von Natur nach unten bewegt, ist schwer, was nach oben, ist leicht. Die Erde ist somit absolut schwer und ohne Leichtigkeit, das Feuer absolut leicht und schlechthin ohne Schwere; jene bewegt sich unbedingt nach der Mitte und sinkt deshalb unter alle anderen Körper, dieses bewegt sich unbedingt nach dem Umkreis und erhebt sich deshalb über alle. Zwischen diesen beiden Körpern müssen wir aber auch ein mittleres annehmen, und zwar ein doppeltes: ein solches, das dem einen, und ein anderes, das dem zweiten dieser beiden Körper näher steht. Diese beiden mittleren

sind Wasser und Luft. Beide sind nur relativ schwer und daher auch relativ leicht; das Wasser ist schwerer als die Luft und das Feuer, aber leichter als die Erde; die Luft ist schwerer als das Feuer, aber leichter als das Wasser und die Erde.

Nicht nur aus der Natur der Bewegung, auch aus den sinnlich wahrnehmbaren Eigenschaften der Körper vermag Aristoteles die Elemente herzuleiten. An diese zweite Ableitung knüpft sich ein besonderes Interesse, da wir späterhin an ihrem Wesen den logischen Grundfehler spezifisch aristotelischer Naturauffassung demonstrieren wollen. Da wir die Prinzipien des sinnlich Wahrnehmbaren, das heißt des tastbaren Körpers, suchen, so lehrt Aristoteles[109], tastbar aber dasjenige ist, was durch den Tastsinn wahrgenommen wird, so ist augenfällig, daß nicht alle Gegensatzpaare der Eigenschaften des Körpers schon Prinzipien begründen, sondern nur diejenigen, welche auf den Tastsinn Bezug haben. In der ausführlichen Reihe jener Gegensatzpaare nun, welche dem Tastsinn angehören, zählt Aristoteles an erster Stelle auf: heiß und kalt, trocken und flüssig (feucht). Die übrigen Gegensatzpaare dieser Reihe verwirft er aus verschiedenen Gründen, da beispielsweise hart und weich nur durch die entsprechende Kombination aus den vier erstgenannten Qualitäten hervorgehe. „Klar demnach ist, daß die sämtlichen übrigen Unterschiede auf die vier ursprünglich ersten zurückgeführt werden, diese aber nicht mehr auf noch weniger.“ Von vier Dingen gibt es sechs Paarmengen; die Gegensätze jedoch sind von Natur nicht bestimmt, gepaart zu werden, da es unmöglich ist, daß das nämliche warm und kalt, und hinwiederum auch, daß es trocken und flüssig ist. Demnach verbleiben nur vier Paarungen, und zwar von warm und trocken, von warm und flüssig, von kalt und flüssig und von kalt und trocken. Diese vier Paarungen schließen sich in begründeter Weise an die einfachen Körper oder Elemente an, nämlich: das Feuer ist warm und trocken, die Luft aber warm und flüssig (nämlich gleichsam wie ein Dampf ist die Luft), das Wasser aber kalt und flüssig, die Erde aber kalt und trocken. Feuer, Luft, Wasser und Erde sind die vier „Elemente“, das heißt diejenigen unter den Körpern, in welche die übrigen Körper

[109] Über Entstehen und Vergehen S. 439 ff.

zerlegt werden können[110], welche jedoch selbst nicht mehr in andere der Art nach verschiedene Körper geteilt werden können. Da nun diese Elemente weder aus einem Körperlosen noch aus einem anderen Körper zu entstehen vermögen, so bleibt nur übrig, daß sie wechselseitig auseinander entstehen.[111] Die Elemente sind somit fähig, durch Umwandlung ineinander überzugehen; in unserer Erfahrung kommen sie nie ganz rein vor, sie sind daher keineswegs mit den irdischen Stoffen gleichen Namens zu verwechseln; was namentlich das Feuer betrifft, so ist das Element dieses Namens nicht mit der Flamme zu verwechseln, welche vielmehr ebenso aus einer Steigerung seiner Wärme entsteht, wie das Eis aus einer Steigerung der dem Wasser natürlichen Kälte. Kommen auch jedem Elemente zwei wesentliche Eigenschaften zu, so ist doch eine derselben für jedes die wesentliche Grundbestimmung: für die Erde die Trockenheit, für das Wasser die Kälte, für die Luft die Feuchtigkeit (Flüssigkeit), für das Feuer die Wärme. Wie ihre unterscheidenden Eigenschaften (warm und kalt, trocken und feucht), so stehen auch die Elemente zueinander im Gegensatze.[112] Je vollständiger dieser Gegensatz ist, um so schwerer und langsamer, je unvollständiger, um so leichter werden sie ineinander übergehen. So gehen Elemente, welche eine der beiden wesentlichen Eigenschaften gemeinsam haben, unmittelbar ineinander über: wird die Kälte des Wassers aufgehoben, so entsteht unmittelbar Luft, wird die Feuchtigkeit des Wassers aufgehoben, dann entsteht unmittelbar die Erde. Im Gegenteil hierzu kann jedoch das Wasser nur mittelbar in das Feuer übergehen, indem durch die Aufhebung der Kälte des Wassers die Luft entsteht und erst noch die dem Wasser und der Luft gemeinsame Feuchtigkeit aufgehoben werden muß, damit sich Feuer bilde; so geht auch die Luft nur mittelbar in Erde über, da durch Aufhebung der Wärme der Luft Wasser entsteht und erst noch die dem Wasser und der Luft gemeinsame Feuchtigkeit aufgehoben werden muß, damit sich Erde bilde. Alle Elemente bilden in dieser Art zusammen ein Ganzes, einen in sich geschlossenen Kreis des

---

[110] Über das Himmelsgebäude S. 209. — [111] a. a. O. S. 225. — [112] Über Entstehen und Vergehen S. 447 ff.

Werdens und Vergehens, dessen Teile sich unaufhörlich aus einer Grundform in die andere umsetzen.

Im Gegensatz zu der sinnenfälligen Art, in der EMPEDOKLES[113] — wie erinnerlich — die vier Grundstoffe auffaßt, konstruiert ARISTOTELES in dem Begriff des Stoffes oder der Materie ein reines Gedankending, indem die Materie nichts anderes als die Tatsache bedeutet, daß irgend etwas die Möglichkeit, etwas zu werden, in sich einschließt. Zum Stoff oder der Materie als dem Unterschiedslosen, das allem Werdenden zugrunde liegt, tritt die Form hinzu, wodurch das Unterschiedene, das Wirkliche entsteht; durch diesen Übergang von der bloßen Möglichkeit in die Wirklichkeit, durch die Bewegung, wird ein bestimmter Naturzweck erfüllt. In dieser Grundformel alles Naturgeschehens liegt der Schlüssel zum näheren Verständnisse der Elementenlehre, wie sie aus dem Gesamtgeiste des aristotelischen Systems heraus sich entwickeln mußte. Die Grundqualitäten, in Form von Antithesen begrifflich abgeleitet, sind als allgemeine Begriffe die Formen, welche zur Materie hinzutreten, wodurch die vier Elemente werden. In den Elementen erlangen somit die Grundqualitäten Wirklichkeit, Stofflichkeit. Allen Verschiedenheiten der Körperwelt sind die konträren Gegensätze des Warmen und des Kalten, des Feuchten und des Trockenen, wofür auch flüssig und fest zu setzen sind, zugrunde gelegt. Alle qualitative Veränderung der Körperwelt beruht auf dem Wechsel dieser Grundqualitäten. Die Möglichkeit der Verwandlung von Wasser in Luft ist gegeben, da beiden die Feuchtigkeit zu eigen ist und die Kälte des Wassers durch Zufuhr von Wärme in die zweite Hauptqualität der Luft (feucht und warm) zu überführen ist. Daß diese Lehre die geistigen Triebfedern zu den späteren alchemistischen Bestrebungen in sich bergen mußte, ist einleuchtend. Die Verwandlung von Unedlem in Edles war das praktische Ziel der Alchemie, wie sie unter der unumschränkten Herrschaft aristotelischen Geistes im Mittelalter ihre Blütezeit erlebte; die Idee von dem Wechsel der Qualitäten, sowie der Begriff, den ARISTOTELES von der Mischung der Stoffe gab, bildeten ihre theoretischen Grundlagen.[114] Wenn die moderne Naturwissenschaft den aristo-

[113] Siehe Seite 35 ff. — [114] Vergleiche STRUNZ: Naturbetrachtung und Naturerkenntnis im Altertum, 1904, S. 74.

telischen Grundbegriffen Materie, Element und Bewegung nur mehr den bloßen Namen als die leere Form entnommen hat, in die sie einen durchaus verschiedenen Inhalt goß, im Begriffe, den ARISTOTELES von der Mischung zweier oder mehrerer Stoffe hegt, schließt sich äußerlich die tiefe Kluft, welche unsere heutigen Naturbegriffe von jenen des Stagiriten trennt. Eine Mischung[115] ist nach ARISTOTELES eine solche Verbindung von zwei oder mehreren Stoffen, in welcher weder der eine in dem anderen untergeht, noch auch beide unverändert zusammen sind, in welcher vielmehr aus ihnen ein dritter gleichteiliger Stoff wird. In der Mischung ist keiner von beiden Stoffen mehr als solcher mit seinen ursprünglichen Eigenschaften vorhanden; sie sind nicht bloß in unsichtbar kleinen Teilen vermengt, sondern durchaus in einen neuen Stoff übergegangen, in welchem sie nur noch der Möglichkeit nach enthalten sind, sofern sie aus ihm wieder ausgeschieden werden können. Somit besteht die Mischung weder in der Absorption eines Stoffes durch einen anderen, noch in einer bloß mechanischen Zusammenfügung oder Vermengung derselben; der aristotelische Mischungsbegriff deckt sich somit bisher der äußerlichen Form nach mit unserem heutigen Begriffe der chemischen Verbindung. Von jenen Dingen aber, so lehrt ARISTOTELES, welche zugleich Einwirkungen ausüben und erfahren können, bewirken diejenigen, welche leicht teilbar sind, falls viele mit wenigen und große mit kleinen zusammengesetzt werden, auch noch keine Mischung, sondern nur eine Zunahme des dabei Überwiegenden, denn das andere verändert sich in das Überwiegende. So zum Beispiel vermischt sich ein Tropfen Wein nicht mit zehntausend Kannen Wasser, denn seine „Form" wird aufgelöst, und er verändert sich in die Gesamtmasse des Wassers. Wenn aber die aufeinander einwirkenden Dinge mit ihren Kräften sich gewissermaßen das Gleichgewicht halten, dann verändert sich jedes von beiden aus seiner eigenen Natur in das je Überwiegende, nicht jedoch entsteht hierdurch das andere, sondern ein Mittleres und Gemeinsames beider. Auch werden Dinge eher gemischt, wenn kleine neben kleine gelegt werden, denn leichter und schneller wandeln sie sich gegenseitig

[115] Über Entstehen und Vergehen S. 421 ff. Siehe auch ZELLER a. a. O. II/2. S. 420. 3. Aufl.

um; eine Menge aber, welche groß ist und unter Einwirkung einer großen Menge steht, tut dies erst nach längerer Zeit. Darum sind unter den teilbaren und für Einwirkungen befähigten Dingen diejenigen, welche leicht in kleine Teile zerlegt werden können, die mischbaren; unter allen Körpern aber sind deshalb die flüssigen am meisten mischbar, wofern dieselben nicht klebrig sind. Am bemerkenswertesten sind schließlich die Ausführungen des Stagiriten über die Mischung von Zinn und Kupfer, denn sie schließen in aller Deutlichkeit den Keim zum universellen Problem der mittelalterlichen Alchemie[116] ein: der Metallveredlung. „Einige Dinge nämlich", sagt ARISTOTELES[117], „haben wechselseitig keine feste Stellung und schwanken zwischen einem zweifachen Sein hin und her, denn es zeigt sich, daß sie gewissermaßen sowohl in unmerklichem Grade mischbar sind, als auch, daß das eine von ihnen der aufnehmende Stoff und das andere die Form ist, wie dies eben bei jenen (Zinn und Kupfer) stattfindet; nämlich das Zinn verschwindet fast gänzlich, wie wenn es ein stoffloser Zustand des Kupfers wäre, und entweicht bei der Mischung, nachdem es dem Kupfer nur eine Färbung gegeben hat[118]; dies nämliche aber findet auch bei anderen Dingen statt."

In der Lehre von der qualitativen Verschiedenheit und Veränderung der Stoffe ist der mechanisch-atomistischen Physik LEUKIPP-DEMOKRIT's ein starrer Gegensatz erwachsen. Die mechanische Naturerklärung, welche an stoffliche Ursachen und deren Gesetze anknüpft und dadurch einer rationellen, empirischen Forschung breiten Raum zu schaffen vermag, muß in der Wurzel getroffen werden, wenn die stofflichen Ursachen zu bloßen Zwischengliedern, zu bloßen Mitteln und unerläßlichen Bedingungen der Naturerscheinungen herabgedrückt werden, während über ihnen die Zwecktätigkeit der Natur, nach völliger Analogie mit der menschlichen Zwecktätigkeit gedacht, als höhere Potenz schwebt. ARISTOTELES verdrängt die physikalische Naturerklärung durch die teleologische. Die vier Elemente und der Äther, die fünfte Substanz

[116] Siehe hierzu: Das Wesen des alchemistischen Problems. Ein Beitrag zur Geschichte der Naturphilosophie von STRUNZ. Deutsche Arbeit. 3. Jahrgang. 1. Heft. — [117] Über Entstehen und Vergehen. S. 427/28. — [118] Eine gelbe Färbung, d. h. die Färbung des Goldes.

(quinta essentia), das Göttliche in der Körperwelt, sind die Grundsäulen seiner Welterklärung in ihrer imposanten Geschlossenheit. Als interessantes Faktum sei nebenher erwähnt, daß auch die Naturweistümer morgenländischer Völker Lehren enthalten, welche die Erinnerung an griechische Stofflehren wachrufen. So sei aus der indischen Philosophie die Lehre der Vaiseschika[119] genannt, jener Schule, welche vorzüglich auf den Unterschied (Visescha) und auf die Spaltung bis in die feinsten Anfänge der Dinge bedacht ist. Der Stifter dieser Schule, Kanada, lehrte, daß das unendlich Kleine, Einfache, nicht weiter Teilbare, das Atom (Anu) immer die letzte Vorstellung beim Zusammengesetzten sein und bleiben müsse, da weitere Analysis nichts helfe, und das Einfache sich immer wieder als das letzte zeige. Da vier Elemente: Erde, Wasser, Feuer und Wind, wahrgenommen werden[120], so seien auch vier Arten von Atomen vorhanden. Zur Zeit der Schöpfung bilden diese Atome stetig sich vergrößernde Komposita (Doppelatome etc.), welche bei der Weltzerstörung wieder abnehmen bis auf das Letzte, Einfache, welches ungeschaffen ist und ewig besteht, während die Verbindungen und Verhältnisse der Atome wechseln. Das feinste den Sinnen noch Wahrnehmbare: das Stäubchen im Sonnenstrahl, ist aus noch Feinerem zusammengesetzt, denn alles, was eine bestimmte Größe hat, muß auch ein Erfolg aus noch Kleinerem sein. Wie die Atomisten, nehmen auch die Buddhisten das Entstehen der Welt aus urstofflichen Atomen an; aber sie leugnen die Existenz eines fünften Elementes, des Äthers, und die progressive Verbindung von Atomen zu Doppelatomen etc.[121]

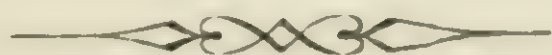
Die chinesische Naturphilosophie nennt Holz, Feuer, Erde, Metall und Wasser als die fünf Elemente, aus denen jedes Ding in der Welt und auch der Mensch zusammengesetzt ist.[122] Die

---

[119] Windischmann: Die Grundlage der Philosophie im Morgenland. II. Buch. S. 1914 ff. — [120] Als fünftes Element wird der Äther genannt. — [121] a. a. O. S. 1967. Siehe auch die Kosmogonie nach Manus Gesetz a. a. O. S. 1539 ff. Bezüglich der Elemente in der indischen Philosophie siehe Literatur in Baeumker a. a. O. S. 69 Fußnote 3, ferner Strunz: Die Chemie im klassischen Altertum, Heft 4 der Zeitschrift: Die Kultur, Wien 1905 S. 475 Fußnote. Der Äther (âkâça) soll keineswegs mit den übrigen Elementen auf gleicher Stufe stehen, sondern den alldurchdringenden, allgegenwärtigen Raum bedeuten. — [122] Windischmann a. a. O. I. Buch S. 136 ff., ferner Neuburger-Pagel: Handbuch der Geschichte

altägyptische Kosmogonie[123] läßt die Entstehung aller Dinge aus dem in Dunkelheit gehüllten, endlosen, bewegungslosen, feuchten Urschlamm Nu oder Nun hervorgehen; er ist „der Uranfang", „das am Anfang Seiende" und „das als Anfang Seiende" zugleich. Seine Materie und deren Eigenschaften finden ihren bildlichen Ausdruck in den vier Götterpaaren der Chmun-Ogdoas, „die Väter der Väter und die Mütter der Mütter"; die ursprünglichsten aller Gottheiten bergen die elementaren Keime der zukünftigen Welt in sich, die in den kosmischen Gottheiten Ra (das Feurige), Schu (Äther, Luft), Queb (das Erdige) und Osiris (das Feuchte) ihren mythischen Ausdruck in der geschaffenen Welt fanden. In ähnlicher Weise personifiziert auch EMPEDOKLES die vier Elemente durch die Namen von Gottheiten.[124] Der gelehrte ägyptische Priester MANETHOS hatte in seinem verlorenen Werke über den Ursprung der Dinge davon gesprochen, daß „**der Urstoff der Anfang sei**".

der Medizin, I/22. Die Fünfzahltheorie spielt in der chinesischen Philosophie eine große Rolle und stammt wahrscheinlich aus der Musik, der „Wissenschaft aller Wissenschaften"; die alte chinesische Tonleiter umfaßt fünf Töne. — [123] BRUGSCH: „Religion und Mythologie der alten Ägypter." S. VIII/IX. ferner S. 107 ff. und S. 147 ff. — [124] ZELLER a. a. O. I/686, Fußnote 1, 4. Aufl. Über die tiefe Bedeutung der Tatsache des Vorhandenseins analoger Vorstellungskreise in der Philosophie verschiedener Völker (ohne ausschlaggebende gegenseitige Berührungspunkte) siehe in jüngster Zeit: HIELSCHER: Die ältere griechische Philosophie völker- und individualpsychologisch dargestellt. Leipzig 1905. Sonderabdruck aus dem Archiv f. d. gesamte Psychologie. V. und VI. Band.



Die qualitative Elementenlehre, ihr logischer Grundfehler und ihre Überwindung durch die quantitative Elementenlehre.

Der Fundamentalsatz aller Naturwissenschaft, der Satz von der Erhaltung des Stoffes, reicht mit seinen Wurzeln in die Anfangsstadien denkender Naturbeobachtung[125], als deren zeitlichste Blüte das Streben nach Erfassung eines beharrenden Substrates der Naturerscheinungen, der Substanz, sich kund tut. Den Naturwissenschaften erwächst späterhin die Aufgabe, den Substanzbegriff naturphilosophischer Prägung, als des Hauptmittels zur Erreichung eines einheitlichen und widerspruchlosen Systemes der Naturerklärung, ihren besonderen Zwecken gemäß anzupassen. Es ist nun klar, daß wir die Substanz, die an und für sich außer aller möglichen Erfahrung gelegen ist, transzendent ist, immerhin nur nach Analogie der in der Erfahrung gegebenen, der empirischen Dinge, in Gedanken zu fassen vermögen, das heißt wir können der Substanz, der Materie, nur ebensolche Merkmale beilegen, die wir aus unserer Erfahrung an den Dingen kennen lernen. Ein Unterschied in der Verfahrungsweise unseres Denkens in Bezug auf die empirisch gegebenen Dinge einerseits und die Substanz andererseits, ist nur dadurch gegeben, daß wir die Eigenschaften der Substanz als absolut konstante auffassen, da ja die letztere das beharrende Substrat aller Naturerscheinungen bilden soll. Es ist nun ohne weiteres einleuchtend, daß es mit den Gesetzen des Denkens unvereinbar sein wird, aus Vorstellungen, welche das menschliche Erkennen nur außerhalb der Grenzen aller Erfahrung zu fassen vermag, wie die Vorstellungen über die beharrlichen Grundeigenschaften der Materie, in keinem Falle die wechselnden Eigenschaften der Dinge, die in der Erfahrung gegeben sind, erklärt werden können. Somit ist der Ver-

[125] Vergleiche S. 5 ff.

such des Stagiriten, durch den variierenden Zusammentritt gewisser beharrlicher Grundqualitäten der Materie die Vielheit und den Wechsel der Naturerscheinungen zu erklären, mit einem logischen Geburtsfehler behaftet. Die aristotelische Elementenlehre[126], die qualitative Elementenlehre, wie sie ihrem inneren Wesen nach zu benennen ist, bildet die Form für diese trügerische Art der Naturerklärung. Die Ideenlehre PLATO's hatte den einen Faktor der Welterklärung, die Sinnenfälligkeit der Einzeldinge und die darauf basierte Erfahrung völlig ausgeschaltet und alle Realität in die allgemeinen Begriffe verlegt. ARISTOTELES trachtet jedoch, auch dem zweiten Faktor, der Wahrnehmung der Einzeldinge und der unmittelbaren Empfindung, gerecht zu werden, indem er die Realität des Allgemeinen im Einzeldinge sich offenbaren läßt. Dem Stoffe, als der bloß möglichen Grundlage alles Werdens, stellt er das Allgemeine im Begriff der „Form" gegenüber, hierzu gesellen sich „Bewegung" und „Zweck" als die beiden anderen Prinzipien des Naturgeschehens. Mit diesen Begriffen umspannt ARISTOTELES nicht nur den gesamten naturwissenschaftlichen Erfahrungsinhalt seiner Zeit, auch das ganze Mittelalter hindurch bewegt sich das Denken, insoweit es Naturobjekte und Naturerscheinungen betrifft, in dem von ARISTOTELES geschaffenen, dialektischen[127] Ring. Mit dem Herannahen des 17. Jahrhundertes sind es neue Naturbegriffe, welche diesen Ring sprengen, das naturwissenschaftliche Denken nimmt fortab eine neue Richtung. Die qualitative Elementenlehre unterliegt im Kampfe mit einer zweiten Art der Naturerklärung, der „quantitativen Elementen-

[126] Eine eingehende Zusammenstellung der für die Chemie wichtigen Punkte gibt LORSCHEID in seiner Schrift: ARISTOTELES' Einfluß auf die Entwicklung der Chemie. Münster. Realschulprogramm 1872. Leider sind in dieser Schrift, die auch KOPP in seinen Geschichtswerken vielfach benützt, auf S. 10 die Elemente mit „unseren heutigen Allotropien" in Analogie gesetzt. „Ebenso wie ein und dieselbe Substanz, z. B. der Phosphor, in verschiedenen Zuständen auftreten kann", heißt es dort, „in welchen sie ganz verschiedene Eigenschaften besitzt, so sind die vier Elemente gleichsam Allotropien des Urstoffs, der also in jedem Elemente als Träger von Eigenschaften (Gegensätzen), natürlich nur von physikalischen, auftritt". Daß diese Parallele leicht zu einer irrtümlichen Auffassung des Wesens der aristotelischen Elemente führen kann, liegt auf der Hand. — [127] Dialektik, die Kunst, einen Gegenstand begrifflich zu erforschen.

lehre"[128], deren Inhalt baldigst des näheren erörtert werden soll. Aus der quantitativen Elementenlehre ging schließlich jene Art der Naturauffassung hervor, welche bis zur Stunde im Bereiche der Naturwissenschaft die Herrschende ist: die materialistisch-mechanistische Naturauffassung, als deren gewichtiges logisches Instrument wir die Atomhypothese bereits nannten.[129]

Ein tieferes Verständnis jener Motive, welche in diesem Kampfe zugunsten der zweiten Art der Naturerklärung in die Wagschale fielen, muß die nähere Kenntnis des logischen Gebrechens der aristotelischen Elementenlehre zur Voraussetzung haben. Zu diesem Ende wollen wir in aller Kürze einige Grundbegriffe der Natur und der Verfahrungsweise unseres Denkens in Betracht ziehen. Die Durchführung eines jeden Denkaktes erfordert die Existenz zweier Dinge, zweier Erscheinungen, in unserer Außenwelt. Da uns nun normalerweise die Empfindung angeboren ist, den Unterschied zwischen Erscheinungen wahrzunehmen, so vermögen wir auch Beziehungen zwischen mindestens zwei Erscheinungen aufzustellen, das heißt wir denken, dieses Verbum im weitesten Sinne des Wortes genommen. Die Gegenstände werden ursprünglich als verschieden wahrgenommen, sie werden als übereinstimmend begriffen, indem unser Denkvermögen die identischen Züge in den Eigenschaften der Gegenstände erfaßt. Zur Durchführung eines Denkaktes sind daher mindestens zwei Gegenstände der Außenwelt erforderlich, welche auf das erkennende Subjekt bestimmte Wirkungen ausüben, die wir „Eigenschaften" der Gegenstände nennen.[130] So ruft der klare Himmel im normalen Auge eine Wirkung hervor, die wir mit dem Worte „blau" bezeichnen. Hierbei handelt es sich nicht ausschließlich um die Wirkungen auf unsere Sinnesorgane, denn wir sprechen beispielsweise von der „Selbstentzündlichkeit des Phosphors" und haben sein chemisches Verhalten gegenüber dem atmosphärischen Sauerstoff im Auge, oder wir sprechen von der Schwere eines Körpers und meinen seine Anziehung gegen die Erde. Wir verstehen daher im allgemeinen unter der Eigenschaft

---

[128] Vergleiche hierzu WUNDT, System der Philosophie S. 447. 1. Aufl. — [129] Siehe Seite 28 ff. — [130] Vergleiche hierzu HELMHOLTZ: Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens. Vorträge und Reden I/321.

eines Dinges, seine Fähigkeit, auf andere Dinge gewisse Wirkungen auszuüben. Durch diese Auffassung des Begriffes „Eigenschaft“ wird uns klar, daß jede Wahrnehmung eines Dinges von subjektiven Empfindungen begleitet sein muß, hervorgerufen durch die „Eigenschaften“ des Dinges. So kann die Wahrnehmung des Wassers durch das Tastgefühl die Empfindungen kalt und flüssig im Gefolge haben. Im Lichte der eben auseinandergesetzten Grundbegriffe der Verfahrungsweise unseres Denkens vermag uns der Fehler der aristotelischen Lehre klar zu werden. Sie überträgt die subjektiven Empfindungsqualitäten warm, kalt, fest und flüssig, welche lediglich erst durch die Beziehungen des Objektes zum erkennenden Subjekt entstehen, auf die Objekte selbst. Nicht die Empfindung kalt und flüssig ruft das Wasser durch Vermittlung des Tastgefühles im erkennenden Subjekte hervor, nein, im Wasser vereinigen sich die beiden in der Natur gegebenen Grundqualitäten kalt und flüssig. Das Wasser wird dadurch zum Symbol für die Vereinigung der beiden genannten Grundqualitäten, es wird zum Element. Die Grundqualitäten in der aristotelischen Lehre, die „primae qualitates“ der Scholastiker, erscheinen uns nach den Grundbegriffen unseres heutigen Denkens als sekundäre Eigenschaften, da dieselben erst dadurch zustande kommen, daß das Objekt zu einem oder mehreren Sinnesorganen des erkennenden Subjektes in Beziehung tritt. Aristoteles hingegen betrachtet sie als die primär gegebenen und stattet die Objekte mit dem Besitze einer Vielheit dieser Grundqualitäten aus. Durch einen Wechsel in dieser Vielheit ist die Veränderung der Objekte herbeigeführt; Wasser wird zu Luft, wenn in der Zweiheit von feucht und kalt, das kalt mit warm wechselt. Mit unserer vorhin dargelegten Auffassung des Begriffes „Eigenschaft der Dinge“ ist nun die Annahme von Eigenschaften, welche unabhängig vom erkennenden Subjekte für sich an den Dingen existieren, unvereinbar. Nach unserer heutigen Denkart gibt es kein rein qualitatives Sein der Objekte, das außerhalb aller Beziehung zum erkennenden Subjekte stünde. Voraussetzungen über das qualitative Sein der Objekte, losgelöst vom erkennenden Subjekte, zu treffen, erscheint uns daher als Verstoß gegen die Gesetze des Denkens, und ebenso erscheint uns der

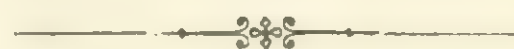
weitere Schritt der aristotelischen Lehre: die Übertragung von subjektiven Empfindungsqualitäten auf die Objekte selbst, als logischer Fehler. Im Lichte dieses trügerischen, rein qualitativen Seins sind die Dinge der Außenwelt Gegenstände naturwissenschaftlichen Erkennens innerhalb des aristotelischen Systems. Der diametrale Gegensatz, wie er zwischen der Naturauffassung, die mit dem 17. Jahrhundert einsetzt und bis zum heutigen Tage vorherrscht, und der aristotelischen Lehre klafft, liegt nun offen vor uns. Die Naturlehre des Stagiriten zieht lediglich nur die qualitative Seite der Natur in Betracht; durch ihre Annahme von primären Qualitäten sind einer willkürlichen Deutung der Eigenschaften der Körper und deren Wechsel aus den Grundqualitäten die Schranken geöffnet. Dagegen betrachtet die Naturwissenschaft, wie sie mit der Regeneration aller Wissenschaft nach dem Zusammenbruche der ehernen Autorität des Aristoteles emporwächst, die Dinge der Außenwelt in ihren objektiven Beziehungen zueinander, wie sie nach den eben dargelegten Grundbegriffen unseres Denkens nur aus den gleichzeitigen Beziehungen der Dinge zum erkennenden Subjekte erschlossen werden können. Die rein qualitative Seite der Naturdinge tritt in den Hintergrund gegenüber ganz anderen Grundeigenschaften der Dinge: den Formen und Bewegungen der Körper, somit gegenüber Grundeigenschaften, die auf quantitative Verhältnisse zurückführbar sind. Formen und Bewegungen der Körper, deren Quantität objektiv zu messen ist, bilden die zum Siege gelangten quantitativen Elemente der Naturwissenschaft. Die qualitative Elementenlehre ist somit der quantitativen Elementenlehre gewichen. Vom Standpunkte der Erkenntnis, daß jegliche Wahrnehmung, insoferne sie lediglich die rein qualitative Seite eines Dinges zum Inhalte hat, subjektiver Natur ist, fällt der Naturwissenschaft umsomehr die Aufgabe zu, die Naturerscheinungen aus quantitativen Beziehungen von Substanzelementen abzuleiten, welche ihrer eigenen Qualität nach unbekannt sind. Die quantitative Elementenlehre treibt in der Art augenscheinlich der atomistischen Hypothese zu; bewegte Atome sind die Urelemente aller Naturerscheinungen. Alle Verschiedenheit der Körperwelt, fest, flüssig, gasförmig, beruht im letzten Grunde nur auf einer verschieden-

artigen Anordnung dieser Urelemente im Raume, alle Veränderungen in der Welt der Erscheinungen sind durch Bewegung letzter Stoffpartikelchen bedingt. Augenscheinlich sind Masse und Bewegung im Lichte dieser Hypothese die letzten Elemente wissenschaftlicher Analyse. Alle Naturvorgänge sind in Mechanik total gleichförmiger Atome aufgelöst. Tatsächlich jedoch bringt jene Wissenschaft, welche voll und ganz auf der atomistischen Hypothese, als dem bis zur Stunde und noch zur weiten Zukunft unentbehrlichen Fundamente, aufgebaut wurde, einen argen Mißton in diese Harmonie. Die Chemie durchbricht den Kreis, welchen die Anschauung von den qualitätsgleichen Atomen, als den Urelementen aller Erscheinungen, um die gesamten Naturwissenschaften zu schließen in der Lage wäre, da qualitätsverschiedene Atome ihre letzten Elemente sind. In der chemischen Atomistik erscheint somit die qualitative Elementenlehre noch nicht völlig überwunden. Es ist klar, daß dieses Ziel innerhalb der Chemie erst in dem Momente erreicht wäre, wo die Idee der Urmaterie sich realisieren könnte. Die Elemente einer Urmaterie wären in den verschiedenen Atomen eben verschieden gruppiert. Die Chemie besäße dann ein einziges „Atom": das Teilchen der Urmaterie. Die Idee einer Urmaterie jedoch steht mit der Hypothese von AVOGADRO-AMPÈRE, einem Grundpfeiler der modernen Chemie, vollends im Widerspruch, was späterhin zu beleuchten sein wird.[131] Der Chemie ist es daher beschieden, auch in Zukunft, von den eben entwickelten Gesichtspunkten aus, eine Ausnahmsstellung innerhalb jener Naturwissenschaften einzunehmen, welchen, wie der Physik oder der Physiologie, die Auflösung in „Mechanik der Atome", das heißt die einfache und umfassende Zurückführung aller ihrer Erscheinungen auf die verschiedene Konfiguration von Systemen qualitätsgleicher Ureinheiten des Stoffes, als erstrebenswertes Ziel erscheint.

Mit dem aristotelischen Systeme hatte das hellenische Geistesleben dem mittelalterlichen Abendlande ein tiefdurchdachtes Weltbild von imponierender Einheit hinterlassen. Das Universum, dessen gedankliches Abbild voll Harmonie und Ebenmaß in allen seinen Zügen den ästhetischen Sinn des griechischen Geistes

[131] Siehe das Kapitel: Urstoffhypothese und Regel von AVOGADRO-AMPÈRE.

widerspiegelt, wird vom Gesetze des Zweckes regiert. Dieses Erbe griechischer Denkarbeit sollte der Menschheit zum wahren Danaergeschenk werden, indem es für Jahrhunderte den Hemmschuh jeglichen rationellen, empirischen Fortschrittes in den Naturwissenschaften bildete. Jedoch lag in der aristotelischen Theorie des Naturgeschehens die Quelle, aus welcher dem Geiste des Mittelalters neues Interesse an den Dingen der Natur zufließen konnte. Unaufhaltsam vollzieht sich die Erweiterung des naturwissenschaftlichen Erfahrungsinhaltes, aus welchem das sich fortentwickelnde Denken neue Naturbegriffe, neue Grundtatsachen des Naturgeschehens schöpft, die nötig sind, um die vervielfachte Mannigfaltigkeit der beobachteten Naturerscheinungen im großen Zusammenhange zu erfassen. Das Denken, welches innerhalb des aristotelischen Systems am Einzeldinge, als einem Komplex von bestimmten Eigenschaften, haftet, wendet sich allmählich der Fähigkeit der Dinge zu, miteinander in Wechselwirkung zu treten und sich in ihren Eigenschaften gegenseitig zu beeinflussen. Durch diese Anschauungsweise wird das naturwissenschaftliche Denken in jene Richtung gedrängt, welche zu einem neuen Naturbegriff umwälzenden Charakters hinführt, dem Begriff der Ursache und Wirkung, der mechanischen Kausalität, als der Fundamentalformel alles Naturgeschehens. Mit der kausalen Erfassung des Naturgetriebes, als einer Kette ineinandergreifender Wechselwirkungen der Einzeldinge, ist die endgültige Umwälzung im Bereiche der Naturerklärung vollzogen. Jede bestimmte Ursache muß eine bestimmte Wirkung nach sich ziehen; das Ausbleiben dieser Wirkung oder das Eintreffen einer anderen als der erwarteten Erscheinung, wirkt richtunggebend auf die Erklärungsweise oder regt zur Abänderung in den Voraussetzungen der betreffenden Erscheinung an. So wird einerseits die kausale Naturauffassung zur Quelle exakter Beobachtung und des Experimentes, andererseits aber vermag erst die kausale Naturwissenschaft die Wege zur praktischen Beherrschung der Naturvorgänge zu ebnen.



Aristotelische Naturauffassung und Atomistik.

Die Atomhypothese, das Fundament unserer Wissenschaft, erscheint uns nach den Darlegungen des vorigen Abschnittes als Sprößling der quantitativen Elementenlehre, welche im Kampfe mit der aristotelischen Naturauffassung, der qualitativen Elementenlehre, die Oberhand behielt. Ihr Sieg knüpft sich an den Untergang der einst unumschränkten Autorität, welche das System des großen Stagiriten zu jenen Zeiten besaß, da die Scholastik, die philosophische Vermittlung zwischen kirchlichem Dogma und selbstständiger Denkart, das Geistesleben von Generationen beherrschte. Unsere Aufgabe, zu einem tieferen Verständnisse jener Motive vorzudringen, welche die fortschreitende Überwindung der qualitativen Elementenlehre und die Wiedererweckung der atomistischen Auffassung des Stoffes herbeiführten, wird daher nur dann vollständig gelöst sein, wenn wir unserem Bilde von der Lehre des Aristoteles und ihrem historischen Schicksal auch jene Züge einverleiben, aus welchen uns der fundamentale Gegensatz zwischen aristotelischer Naturauffassung und Atomistik entgegenleuchtet, und schließlich mit einigen Worten jene Stützen andeuten, welche das System des Stagiriten innerhalb der scholastisch-religiösen Weltanschauung mit Naturnotwendigkeit vorfand.

Durch Jahrhunderte hatte die spezifische Denkart, welche Aristoteles den Dingen der Natur entgegenbringt, den wissenschaftlichen Sinn der abendländischen Kulturwelt erfüllt. „Sein Verstand war durchdringend und umfassend; seine Leistungen übertrafen die aller bekannten Philosophen; nur der Einfluß der großen Religionsstifter war noch größer als der seine; wenn wir aber jetzt den Erfolg seiner Arbeiten nach der Entdeckung positiver Wahrheiten beurteilen, so erscheint er unbedeutend, wenn nicht gar irrig. Keine der großen Grundentdeckungen der Wissenschaft haben wir ihm oder seinen Schülern zu verdanken. Sein außerordentlicher, tätiger Verstand gab der Philosophie einen

mächtigen Anstoß und erfüllte die Welt durch zwanzig Jahrhunderte mit Ehrfurcht. Dann trat ein Wechsel ein; der schon lange murrende Geist der Umwälzung wurde stark genug, ihn zu entthronen. Zeiten servilen Autoritätsglaubens hatten ihn auf eine nie dagewesene Höhe erhoben; in dem Tumulte der Revolution wurde sein Thron zum Pranger."[132] Im steten Kampfe gegen die unumschränkte Autorität des Stagiriten wendet sich das Denken allmählich von neuem der Atomistik zu. Wollten wir die Entwicklung der Atomistik systematisch in allen Details verfolgen, den weiten Pfad, der in der altjonischen Naturphilosophie seinen Ausgang nimmt, in jeder seiner einzelnen Etappen betrachten, vom Untergang der antiken Welt durch die ersten Jahrhunderte des Christentums und weiter durch das Gestrüppe der Scholastik, das seine Richtung oft verdeckt, wir müßten tief in jenes große Gebiet der Naturphilosophie eindringen, das von der Erkenntnis des Wesens der Materie, im umfassendsten Sinne des Wortes, handelt. Die Atomistik bildet nur einen Bruchteil dieser Erkenntnis. Die entwicklungsgeschichtliche Betrachtung[133] der Vielheit von Theorien der Materie, welche die Philosophie der verschiedenen Jahrhunderte zeitigte, liegt fernab von unserem Wege. Wir begnügen uns an dieser Stelle mit einem einzigen Elemente dieser weitverzweigten Betrachtung, indem wir uns ins Gedächtnis zurückrufen, daß die antike Atomistik die Materie, den Stoff, zum Urgrunde alles Naturgeschehens macht. Diese früher von uns eingehend dargelegte Erkenntnis können wir nunmehr dahin erweitern, daß innerhalb des LEUKIPP-DEMOKRIT'schen Systems nicht nur der unerschöpfliche Reichtum der unbelebten Natur, sondern auch die Lebenserscheinungen in ihrer Ursache und ihrem Wesen aus der Tätigkeit des rein Stofflichen gedeutet werden. So besteht nach DEMOKRIT die Seele aus feinen, glatten und runden Atomen, welche zugleich die beweglichsten sind; durch ihre Bewegung, welche den ganzen Körper durchdringt, werden die Lebenserscheinungen hervorgerufen. Die antike Atomistik, ihrer philosophischen Richtung nach reiner Materialismus, führt das

---

[132] LEWES: ARISTOTELES, a. a. O. S. 1. — [133] Sie bildet den Inhalt des klassischen Werkes von LASSWITZ a. a. O., wobei dieses Werk jedoch nur den Zeitraum vom Mittelalter bis NEWTON umfaßt.

Prinzip der mechanischen Kausalität in der Naturauffassung konsequent durch. Nur die Bewegung der Atome, unter denen sich gleich große und gleich gestaltete aneinanderlagern, wird als ursprünglich, ewig und anfangslos betrachtet. Sie fließt aus der schlechthinigen Notwendigkeit oder der notwendigen Vorherbestimmtheit, welche DEMOKRIT im Gegensatz zum „Nus“ des ANAXAGORAS[134] „Zufall“ genannt haben soll. Daher schien es dem abderitischen Weisen müßig und verkehrt, für das anfangslose, urewige Geschehen einen Anfang oder eine Ursache zu suchen. Im fundamentalen Gegensatz hierzu ist ARISTOTELES jener Denker der Antike, welcher die teleologische Naturauffassung, die Auffassung des Naturgeschehens als von einem höheren Zwecke beherrscht, auf das konsequenteste ausbildet. Hiermit ist auch eine der Hauptstützen bloßgelegt, auf welchen sich die absolute Herrschaft des aristotelischen Geistes über das Denken von Jahrhunderten gründete. Während die Atomistik in ihrem starren Mechanismus als gottesleugnerisch und daher verdammenswert erschien, war die Annahme eines bewußten Waltens, einer Zwecktätigkeit im Naturgeschehen, nach Analogie der menschlichen Zwecktätigkeit gedacht, mit dem Glauben an einen weisen Schöpfer und Weltenlenker wohl in Einklang zu bringen. ARISTOTELES selbst bekämpft die Annahme von Atomen nicht nur als unzulässig, da er die Möglichkeit einer unteilbaren Größe und eines leeren Raumes verwirft, er hält diese Annahme ebenso für überflüssig zur Erklärung der hauptsächlichsten Veränderungen in der Körperwelt und der Seelentätigkeit. Die Aufzählung der aristotelischen Einwände gegen die Atomistik würde zu weit führen.[135] Im Mittelalter hatte jeder Gelehrte die Pflicht, die Stellen, in welchen ARISTOTELES das System LEUKIPP-DEMOKRIT's ausführlich widerlegt, einem eingehenden Studium zu unterziehen. Als nun das 17. Jahrhundert über die aristotelische Elementenlehre hinweg den Boden betrat, in welchen die Fundamente zum Aufbau der modernen Naturwissenschaften versenkt werden sollten, geschah diese Abwendung von der Autorität des Stagiriten zur Atomistik hin, nur im schweren Kampfe gegen die kirchlichen Gewalten. Die eingehende

[134] Siehe Seite 35. — [135] Eine übersichtliche Darlegung siehe LASSWITZ a. a. O. I/103 ff.

Geschichte der Atomistik bietet hierfür drastische Belege.[136] So bietet Gassendi[137], der Erneuerer der epikureischen Philosophie, seine gesamte, im Zwange der Scholastik geübte, virtuosenhafte Dialektik auf, um die Atomistik Epikur's mit dem kirchlichen Dogma in Einklang zu bringen. Neben Gassendi knüpft sich der philosophische Ausbau der Atomistik besonders an die Namen Descartes, des öfteren „der Vater der neueren Philosophie" genannt (1596—1650) und an Hobbes (1588—1679). Parallel hierzu schreitet ihre naturwissenschaftliche Vollendung, die, von Galilei angebahnt, über Huyghens und Newton bis auf unsere Tage führt. Die neue Epoche wissenschaftlichen Denkens hatte zwar die Waffe, mit welcher sie die eiserne Autorität des Stagiriten siegreich bekämpft hatte, wiederum der Rüstkammer des hellenischen Geistes entnommen, jedoch ein neuer Faktor hatte dieser Waffe erhöhte Schärfe verliehen, hatte das Werk Leukipp-Demokrit's über die Lehre des Aristoteles im wissenschaftlichen Bewußtsein der neuen Zeit zu erheben vermocht. Es war die aufblühende Mechanik, welche die Ausbildung des Begriffes von der Energie der Bewegung anbahnte. Während die antike Atomistik den Erscheinungen die räumliche Ansammlung und Scheidung der Atome zugrunde legte, wobei sie alle Bewegung als bloßen Wechsel der Lage, als Ortsveränderung auffaßte, war nunmehr ein neues Mittel in Sicht getreten, um den kausalen Zusammenhang der Atome wissenschaftlich darzustellen. Es war die Auffassung von dem Intensiven, dem eigentlichen Realen der Bewegung, das wir heutzutage unter dem Ausdruck „Energie" begrifflich fassen. „Galilei eröffnete uns zuerst die Eingangspforte zur gesamten Physik, das Wesen der Bewegung", schreibt Hobbes. Die Untersuchung des Einflusses, welchen die mächtig emporwachsende Physik auf die Ausbildung des Atombegriffes nahm, wird somit einen Hauptteil der geschichtlichen Betrachtung jener Riesenarbeit bilden, welche der menschliche Geist durch Jahrhunderte zur Lösung des Problems von der Materie unternahm. Der Mensch

---

[136] Durch Parlamentsbeschluß vom 4. September 1624 war die öffentliche Darlegung korpuskularphilosophischer Grundsätze in Frankreich bei Todesstrafe verboten worden. Siehe: Die Disputation des de Claves und ihre Folgen. Lasswitz a. a. O. I/482. — [137] Siehe Seite 41.

tritt mit der Körperwelt in Wechselwirkung, ihr gegenüber sucht er seine physische Existenz zu verteidigen, ihrer sucht er Herr zu werden. Die Geschichte der Vielheit von Theorien über die Materie ist daher auf das engste mit der Entwicklung des menschlichen Erkenntnisvermögens verknüpft und muß sich einleuchtenderweise von einem bedeutsamen philosophischen und kulturhistorischen Hintergrunde abheben. Wir begnügen uns, einen geringen Bruchteil aus der Entwicklungsgeschichte des Problems von der Materie in Betracht zu ziehen, indem wir jene Etappen des Kampfes gegen die qualitative Elementenlehre schildern, welche sich auf chemischem Boden abspielen, und es versuchen, die Früchte dieses siegreichen Kampfes, welche der Chemie zugute kamen: die Entwicklung des chemischen Element- und -Atombegriffes, in helles Licht zu rücken.



Das Wesen der Alchemie und das Stoffproblem innerhalb ihrer griechisch-alexandrinischen Phase.

Wir bezeichneten die Entwicklung des Problems vom Wesen des Stoffes als innig verknüpft mit dem Aufsteigen des menschlichen Erkenntnisvermögens. Den ersten Anfängen denkender Naturbeobachtung, wie sie uns in geläuterter Form in der altjonischen Naturphilosophie entgegentreten, geht jene Dämmerzeit des menschlichen Geistes voran, da es noch der Religion neben ihrer Hauptaufgabe, den Anforderungen des Gemütes gerecht zu werden, vorbehalten ist, auch das erwachende Verstandesinteresse durch Schaffung eines äußeren Weltbildes zu befriedigen. Sie drückt diesem Weltbilde ihren ureigenen Stempel auf, indem sie das Naturgeschehen von geheimen Zaubermächten, von Göttern und Dämonen aller Art beherrscht sein läßt. Der Frühzeit denkender Naturbeobachtung geht somit jene Periode voran, deren Kennzeichen die „animistische"[138] Naturauffassung bildet. Ergreift dann das reine Verstandesinteresse die Zügel der Herrschaft über das Gemütsbedürfnis, sondert sich das geistige Interesse scharf vom religiösen ab, dann weicht der rohe Naturmythus der philosophischen Betrachtung des Weltganzen. Diese zeitigt auf ihrer ersten Stufe die atomistische Naturerklärung, derem Fortschreiten jedoch alsbald die Auffassung der Natur als zweckbeherrschtes Ganze, das des unteilbaren Dinges sowie des leeren Raumes entbehrt, unüberwindlich die Bahn verschließt. Im Bunde mit dem christlichen Theismus[139] trotzt diese Auffassung der Flut von Jahrhunderten, bis die antike Atomistik, im Widerschein einer

---

[138] animus = Geist. Siehe TYLOR: Die Anfänge der Kultur. 2 Bände. Vergleiche auch die Einleitung zu ERNST MACH's Rede: Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung. Populär-wissensch. Vorlesungen 3. Aufl. S. 215. — [139] Die Weltanschauung, welche auf dem Glauben an einen persönlichen Gott beruht.

neuen Zeit mit neuem Geiste belebt, siegreich durchbricht, und unsere Auffassung des Naturgeschehens bis zum heutigen Tage lenkt. Umfassen so unsere Blicke rückwärtsschauend den wechselvollen Weg, welchen das Denken einschlägt, sobald es die unendliche Mannigfaltigkeit des Naturgeschehens zu umfassen strebt, dann scheint in keinem Abschnitte dieses Weges die animistische Epoche vollauf überwunden. Sie erhebt mächtig ihr Haupt in den Jahrhunderten, die vom Untergang der Antike zur Regeneration der Wissenschaften im 17. Jahrhundert dahinfließen, genährt durch jene mystisch-ekstatische Richtung, welche mit dem Ausklingen des antiken Denkens im sogenannten Neu-Platonismus emporgeschossen war. Neuerdings walten die geheimen Zaubermächte in der Naturerklärung, die Chemie tritt im mystischen Gewande der Alchemie auf, die Physik wird zur Magie, die Astronomie zur Astrologie, und sogar die Mathematik sinkt zeitweilig auf das Niveau von Reflexionen über die geheimnisvollen Eigenschaften der Zahlen und der geometrischen Figuren hinab.

Fast durch achtzehn Jahrhunderte lagern die Schatten des Mystizismus über dem Entwicklungsgang der Chemie, länger als über dem Weg, den jede andere Naturwissenschaft genommen. In den ersten Jahrhunderten unserer Zeitrechnung von fast undurchdringlichem Dunkel, weichen sie allmählich in dem Maße, als sich die praktischen Erfahrungen in strikten Theorien alchemistischer Färbung über die Natur des Stoffes, seine Zusammensetzung und seine Umwandlungsfähigkeit verdichten. Michael Psellos[140], ein alchemistischer Schriftsteller des 11. Jahrhunderts, erklärt ausdrücklich, daß die Zerstörung und die Umwandlung des Stoffes durch natürliche Ursachen und nicht kraft einer Zauberformel oder eines geheimen Rezeptes vor sich gehen. Ein Jahrhundert später, und der mystische Dämmerschein, der noch immer die Alchemie und ihr magisches Transmutationsgeheimnis umwebt, wird von den ersten Strahlen jener rationalistischen Skepsis getroffen, welche der Nichtigkeit des wunderlich-sehnsüchtigen Hoffens nach der Umwandlung von Unedlem in Edles, wie es die Träger alchemistischen Fortschrittes bis dahin durchglühte, anfängt inne zu werden. Das vergebliche Mühen

[140] Berthelot: Les origines de l'alchimie p. 279.

von mehr als einem Jahrtausend um ein chimärisches Ideal war zum Boden dieser Skepsis geworden. Gegen das 12. Jahrhundert entspinnt sich unter den arabischen Alchemisten das erste Mal eine lebhafte und eingehende Polemik über die Wahrheit der Transmutation.[141] Die Gründe für und wider finden sich in den aus dem Arabischen ins Lateinische übersetzten alchemistischen Schriften, welche den Autornamen AVICENNA (IBN SINA) tragen, mit Unparteilichkeit dargelegt. In den Werken der hervorragendsten Geister des 13. Jahrhunderts, eines VINZENZ VON BEAUVAIS (VINCENTIUS BELLOVACENSIS), eines ALBERTUS MAGNUS und ROGER BACON kommt der aufkeimende Zweifel[142] an die Wirklichkeit der Metalltransmutation zum deutlichen, wenn auch nicht zum völlig entschiedenen Ausdruck. So berichtet VINZENZ VON BEAUVAIS charakteristischerweise[143], daß es nicht gelingt, Silber, durch Projektion des roten Elixirs in Gold verwandelt, jenen Agentien gegenüber unveränderlich zu gestalten, welche das Silber und nicht das Gold verbrennen, ebenso wie dasselbe Elixir, auf Kupfer projiziert, um dieses zu bleichen, das erhaltene Transmutationsprodukt gegen jene Agentien nicht schützt, welche das Kupfer und nicht das Silber verbrennen. Die „Summa perfectionis“[144], das klassische Werk der lateinischen Alchemie, im 14. Jahrhundert entstanden und unter die Patronanz des hochverehrten Namens GEBER gestellt, enthält im zweiten Teile ihres ersten Buches eine methodische Diskussion der Gründe für und wider die Transmutation, nach allen Regeln der scholastischen Dialektik durchgeführt. „Nicht wir sind es“, so heißt es dortselbst, „welche diese Wirkungen hervorbringen, sondern die Natur; wir verfügen über die Materialien und die Bedingungen, und sie wirkt durch sich selbst: wir sind ihre Handlanger (administratores illius sumus).“ In ähnlicher Weise nagt der Zahn rationalistischer Skepsis an dem uralten Glauben von der mystischen Verwandtschaft zwischen den Metallen und den Gestirnen, sowie vom Einflusse der letzteren auf die Entstehung der Metalle im Schoße der Erde. Der lateinische GEBER (Pseudo-GEBER)

---

[141] BERTHELOT: La chimie au moyen-âge T. III., p. 4. — [142] BERTHELOT a. a. O. T. I. p. 282. — [143] Speculum naturale 1. VIII. cap. LXXXVI. — [144] Siehe das nächste Kapitel.

bekämpft diesen Glauben, der wahrscheinlich babylonischen Ursprunges ist.[145]; ROGER BACON[146], dessen Geist seiner Zeit weit vorauseilt, hatte sich schon früher in seinem Werke „De nullitate magiae“ in ähnlichen rationalistischen Bahnen bewegt. Der Bekämpfung des uralten Glaubens an übersinnliche Einflüsse auf die Metalle tritt die skeptische Beurteilung der Möglichkeit, Metalle künstlich zu erzeugen, zur Seite. (Diese Möglichkeit wurde auf die Theorie von der Zusammensetzung der Metalle aus dem Mercurius und dem Sulphur basiert, eine Theorie, welche im Laufe des 12. Jahrhundertes fundamentalen und universellen Charakter gewinnt.[147]) VINZENZ VON BEAUVAIS läßt sich folgendermaßen vernehmen: „Es gelingt jedoch nicht, die künstlichen Metalle den natürlichen gleich zu gestalten und ihnen dieselbe Widerstandsfähigkeit gegen die Analyse (examinatio) durch das Feuer zu geben.“[148] Deutlich prägt sich in kritischen Urteilen dieser Art die aufsteigende Entwicklung des mittelalterlichen Naturerkennens, wie die fortschreitende Vertiefung des chemischen Erfahrungsinhaltes aus. Es verrauschen weitere zwei Jahrhunderte, und der große Reformator THEOPHRASTUS PARACELSUS (1493—1541) spricht die Worte aus: „Viele haben sich der Alchimey geeußert / sagen es mach Silber und Gold; so ist doch solches hie nicht das fürnemmen / sondern allein die bereitung zu tractiren / was tugent und krefft in der Arztney sey.“[149] Und ferner: „Nicht als die sagen / Alchimia mache Gold / mache Silber: Hie ist das fürnemmen / Mach Arcana, und richte dieselbigen gegen den Kranckheiten.“[150] Der strahlende Glanz des klassischen und universellen Ideals der Alchemie von ehedem: die Verwandlung der Metalle in Gold oder Silber, ist verblichen neben dem neuen Ideal, die alchemistische Experimentierkunst zur Heilung der physischen Leiden der Menschheit fähig zu gestalten. Doch keine grundstürzende Umwälzung, keine endgültige Umwertung des alten Ideals bedeutet das neue, das jatrochemische Zeitalter der Al-

[145] BERTHELOT: Les origines de l'alchimie p. 48. — [146] Siehe das übernächste Kapitel. — [147] Siehe die zwei folgenden Kapitel. — [148] BERTHELOT: La chimie au moyen-âge T. I. p. 281. — [149] STRUNZ: THEOPHRASTUS PARACELSUS, sein Leben und seine Persönlichkeit. S. 22. — [150] THEOPHRASTUS PARACELSUS. Das Buch Paragranum herausgeg. von STRUNZ Seite 75.

chemie, sowie die darauf folgende Epoche des Heranreifens der Chemie zum exakten und selbständigen Zweige der Naturwissenschaft. Denn noch ROBERT BOYLE, der Typus des empirischen Forschers und Chemikers der neueren Zeit[151], hält die Möglichkeit der Metallumwandlung nicht nur auf Grund eigener Versuche bewiesen, er stellt das uralte, unverwüstliche Ideal, dessen bisherige theoretische Grundlagen: die qualitative Elementenlehre[152], in seinen Tagen bereits endgültig überwunden sind, auf eine neue, wissenschaftliche Basis. Alle Körper, und somit auch die Metalle, so lehrt BOYLE, sind aus einer Urmaterie aufgebaut, und alle körperliche Verschiedenheit ist nur das Produkt der ungleichen Größe und Form, der Ruhe oder der verschiedenen Bewegung, wie der mannigfachen Lage der kleinsten Teile dieser Urmaterie. Auf der Basis dieser Anschauungen scheint ihm nun keine Unmöglichkeit darin gelegen zu sein: „daß die eine Art von Metall in eine andere transmutiert werde, (denn in Wirklichkeit bedeutet dies nichts mehr, als daß in einem Bruchstücke der universellen Materie, die allen Körpern zugrunde liegt, ein Gefüge [texture], gleich dem eines anderen Bruchstückes der allgemeinen Materie, die beiden zu eigen ist, hervorgebracht wird)".[153] Die Umwandlung eines Metalles in Gold erscheint somit nur als spezieller Fall der allgemeinen Transmutationsmöglichkeit. Der chimärische Traum des Mittelalters währt noch heutigen Tages in den Ländern der Moslems, denn „viele Personen", so berichtet BERTHELOT[154], „in Marokko und anderswo, sind im Besitze alchemistischer Werke; sie halten diese jedoch geheim und weigern sich gewöhnlich, darüber Mitteilungen zu machen oder gar eine Abschrift davon zu gestatten, da sie wähnen, des wundervollen Geheimnisses der Transmutation habhaft zu sein." Inwiefern die spontane Umwandlung von Elementen im Lichte der radioaktiven Forschung unserer Zeit verwirklicht erscheint, wird an späterer Stelle zu betrachten sein.[155]

Der Entwicklungszug der Alchemie läßt sich so in seinen

---

[151] Siehe das Kapitel: Die Korpuskulartheorie ROBERT BOYLE's etc. — [152] Siehe Seite 65 und Seite 70 ff. — [153] The Origin of Forms and Qualities. Works of the honourable ROBERT BOYLE, London 1772, III/94. Siehe auch KOPP: Die Alchemie in älterer und neuerer Zeit, I/53 ff. — [154] La chimie au moyen-âge III/2. — [155] Siehe das Kapitel: Die Auffassung von der elektronischen Struktur des Stoffes.

äußersten Konturen leicht erfassen, wenn die beiden großen Ideale als Richtpunkte dienen, um welche die alchemistischen Naturforscher mit so glühender Begeisterung rangen. Die großen Scheidekünstler[156] verflossener Jahrhunderte, Menschen voll enthusiastischer Ideen, haben die „Bändigung" der Natur im wahren Sinne des Wortes als innerliches Erlebnis mitgefühlt. In einer Zeit, da die kirchliche Herrschaft so tief in das Leben des Einzelnen hineinragte, da das religiöse Erlebnis allein die Sinne gefangen hielt, ist auch der lebensvolle Schatz theoretischer und chemisch-technischer Kenntnisse von den Arabesken mystisch-religiöser Grübelei umsponnen worden. Chemische Denkart und chemische Forschung wurden selbst zum religiösen Erlebnis. Mit priesterlichem Ernste hören wir von dem Heiligsten, der „königlichen Kunst" reden: dem „Magisterium", dem berühmten Umwandlungsprozeß der Metalle zu Gold! Und selbst im Gewande der Poesie schreiten von altersher Schätze chemisch-technischer Errungenschaften einher. Eine ganze Literatur alchemistischer Reimwerke zieht sich vom Ende des 4. Jahrhunderts unserer Ära bis zur Zeit der Kreuzzüge und später hin.[157] An die Stelle der großen alchemistischen Ideale tritt allmählich das sieghafte Ringen nach klaren chemischen Begriffen, tritt der kräftige Zug einer zwingenden Empirie und nüchternen Realistik; exakte Grundgesetze chemischen Geschehens und deren Weiterausbau werden die Pfadweiser von der Zeit eines ROBERT BOYLE an.

Der geschichtlichen Forschung war es beschieden, an der Hand mehr oder minder authentischer, handschriftlicher Denkmäler, den Lauf der Alchemie bis in die ersten Jahrhunderte unserer Zeitrechnung zurück zu verfolgen. Jedoch der Quelle des Stromes gleich, die im Schatten des Waldes sprudelt, liegen die Anfänge der Alchemie im beträchtlichen Dunkel. Unvermittelt taucht die Alchemie mit dem Niedergange des Römerreiches in den griechisch-alexandrinischen Kulturkreisen empor. Ihre sagenhaften Wurzeln weisen auf die vergangene Kultur des alten Ägyptens, wie auf babylonische, chaldäische und jüdische Einflüsse

[156] Siehe die geistvolle Skizze von STRUNZ: Aus der Vergangenheit der chemischen Forschung. Chemiker Zeitung 1902, S. 552. — [157] Siehe BERTHELOT: Les origines de l'alchimie p. 121, 201. Siehe auch LIPPMANN: Alchemistische Poesie aus dem 13. Jahrhundert, Chemiker-Zeitung 1905, S. 323.

zurück. Zu einem oft seltsamen Bilde fließen in der griechisch-alexandrinischen Alchemie positive chemische Kenntnisse und chemisch-technische Erfahrungen, durch den gewerblichen Fortschritt Ägyptens von altersher gezeitigt, mit den mystischen Träumereien der Gnostiker sowie mit den Überresten der religiösen Überlieferungen des alten Ägyptens zusammen. Der Neuplatonismus, das Erbe griechischen Denkens, wie die ursprüngliche platonisch-aristotelische Naturauffassung machen ihren Einfluß rege.[158] Nebst dem griechisch-alexandrinischen Kulturzentrum knüpft sich die Geschichte der Alchemie an eine zweite Stätte der Verschmelzung hellenischer und orientalischer Kultur. Die Züge ALEXANDERS DES GROSSEN hatten die griechische Kultur von den Ufern des Mittelmeeres bis nach Persien und sogar nach dem fernen Baktrien getragen. Edessa war im Laufe der Jahrhunderte zum Sitze einer berühmten Akademie und einer Bibliothek herangewachsen; neben den Werken des Stagiriten wurden dort im 5. Jahrhunderte der christlichen Ära auch jene der alexandrinischen Alchemisten sowie die übrigen Geistesprodukte alexandrinischer Gelehrsamkeit eifrig ins Syrische übertragen. Jedoch Religionskämpfe, durch die Bildung verschiedener Sekten im Schoße des frühen Christentums entbrannt, machten die ersten Früchte syrischer Wissenschaft zunichte. Die kirchliche Orthodoxie vertrieb die syrischen Gelehrten, die bei den Sassaniden in Mesopotamien, den erbitterten Feinden des byzantinischen Kaiserreiches, willige Zuflucht fanden. So wurde das Land zwischen dem Euphrat und dem Tigris, in grauer Vorzeit der Sitz bodenständiger Kultur, neuerdings zur Pflegstätte hoher Wissenschaft, bis sie dem Sturm fanatisierter Osmanenhorden im 11. Jahrhunderte zum Opfer fallen sollte. In Mesopotamien war es, wo sich die Fackel der arabischen Naturwissenschaft des Mittelalters entzünden sollte, deren helles Licht die scholastische Nacht des Okzidentes zu erleuchten bestimmt war. Denn nach der Eroberung Syriens und Mesopotamiens durch die Araber wurde Bagdad der Sitz wichtiger Schulen

[158] Vergleiche zum folgenden: BERTHELOT: Les origines de l'alchimie und Introduction à l'étude de la chimie des anciens et du moyen-âge. Ferner die beiden Artikel BERTHELOT's: La chimie dans l'antiquité et au moyen-âge, Revue des deux mondes 1893 T. 119. p. 315 et 545.

und Bibliotheken, bei deren Gründern, den abassidischen Khalifen, die syrischen Gelehrten, trotz ihres christlichen Glaubensbekenntnisses, im hohen Ansehen standen. Syrische Gelehrte waren es gleichfalls, welche alchemistische, wie medizinische und astronomische Kenntnisse an den Hof zu Byzanz trugen. So findet vom achten bis zum zehnten Jahrhundert an dem Hofe der abassidischen Khalifen, wie an jenem zu Byzanz, die Übersetzung und Zusammenfassung der griechisch-alexandrinischen Alchemie ihre rege Weiterpflege. Syrische wie byzantinische Alchemie gründen sich somit auf die kompilatorische Übersetzung der Werke der Alexandriner, wodurch wertvolle Bruchstücke aus den Schriftstücken der letzteren den kommenden Jahrhunderten erhalten blieben. Die betreffenden Handschriften, kostbare Schätze der hervorragendsten Bibliotheken Europas, teils in syrischer Sprache abgefaßt, teils im arabischen Idiom mit syrischen Lettern geschrieben, sind in den letzten Dezennien unserer Zeit glücklicherweise Gegenstand des eindringlichsten historischen Studiums gewesen.[159] Enthalten diese altehrwürdigen Zeugen der chemischen Wissenschaft längst entschwundener Zeiten auch einige Spuren babylonischer und persischer Einflüsse, welche den alexandrinischen Kreis nicht berührt haben, so weisen sie doch keinen originellen Grundsatz auf, auch findet sich weder ein wichtiges Faktum noch ein wesentliches Rezept, das den Alexandrinern nicht schon bekannt gewesen wäre. Entbehren so die Werke des syrischen Gelehrtentums der wahren Ursprünglichkeit, so ist ihnen trotzdem in der Geschichte der Naturwissenschaften wie der geistigen Kultur kein Nebenplatz zuzuweisen, denn diese Werke erhalten die ununterbrochene Folge jenes Weges aufrecht, der von der Geistesarbeit des Altertums durch die Vermittlung der Araber zum Ausgangspunkte der modernen Naturwissenschaft hinleitet. Die syrische Alchemie bildet die Basis der späteren arabischen Alchemie, welche die Ideen der Alexandriner ausbauen und modifizieren sollte, um sie im 12. und 13. Jahrhundert den christlichen Abendländern zu überliefern. Gegen die Mitte des 7. Jahrhundertes hatten die Araber Ägypten erobert, ihr weiterer

---

[159] Siehe Berthelot: Collection des anciens alchimistes grecs, und La chimie au moyen-âge, T. II.

Siegeslauf erstreckte sich längst der Nordküste Afrikas nach Spanien, wo sie sich in den ersten Dezennien des 8. Jahrhundertes festsetzten. Welch glänzende Kultur sich an die Herrschaft dieses ursprünglich so rauhen und kriegerischen, semitischen Urstammes in Spanien knüpft, welch glänzende Leistungen die Araber auf dem Felde positiver Forschung, der Mathematik und der Naturwissenschaften im weitesten Sinne des Wortes zur Bewunderung aller Zeiten vollbrachten, ist bekannt. Nebst dem Füllhorn an reichem Naturwissen, das sich von den Stätten arabischer Gelehrsamkeit, so namentlich Cordova, über die christlichen Länder Europas ergoß, sprießen im Gehege der arabischen Philosophie jene Keime empor, welche auf die scholastische Denkrichtung mit ihrem Dogmatismus und ihrer rein dialektischen Zergliederung der Dinge im Geiste der überlieferten platonisch-aristotelischen Naturauffassung[160] zersetzend wirken mußte.[161] Die Geistesarbeit der Araber bahnt somit dem empirischen Naturerkennen späterer Zeiten den Weg. Während im Abendlande die Stürme der Völkerwanderung in die Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Kultur der antiken Welt eine weite Bresche legten, hatte sich im Oriente, wie wir eben bemerkten, die stetige Folge wissenschaftlicher Bildung in den alexandrinischen und syrischen Kulturkreisen verwirklicht. Durch Vermittlung der syrischen Schulen flossen den Arabern die „ewigen Quellen griechischer Philosophie“ (Humboldt) viel reichlicher zu als den ersten Scholastikern, vor allen anderen die Lehren des Stagiriten. Der Geist dieses phantasiereichen Naturvolkes, unter dem sternenklaren Himmel der weiten Steppen Arabiens erwachsen, an den Erscheinungen der Natur, die den lebhaften Sinn des Beduinen alltäglich und allnächtlich beschäftigten, geschult, drängt auf reales Naturerkennen; er weiß die naturalistischen Seiten des aristotelischen Systems nach seiner Eigenart weiterzubilden. Namentlich prägt sich diese ursprüngliche Richtung des arabischen Geistes in dem Systeme des letzten und größten der arabischen Philosophen aus: Ibn Roschd (Averroës), zugleich berühmt als Arzt (1126—1198). So fällt den Arabern, dem Volke, das von Natur aus mit scharfem Verstande und reger Auffassungsgabe begnadet ist, die epochale

[160] Siehe S. 45 ff. — [161] Siehe Lange: Geschichte des Materialismus. S. 132. ff.

Aufgabe zu, mitten in den Zeitläufen der Scholastik jene Periode vorzubereiten, in welcher die Naturwissenschaften neu erstehen, exaktes Beobachten und erfahrungsmäßiges Erforschen, die Natur in ihrer ganzen Herrlichkeit und Lebensfülle zu neuen Ehren bringen sollte. In der Geschichte unserer Wissenschaft ist den Arabern die Rolle zugedacht, die Ideen der Alexandriner: die Idee von der Urmaterie, von der Transmutation der Metalle und dem Merkurius der Philosophen, fortzubilden. Der Kontakt der arabischen und christlichen Bevölkerung in Spanien zeitigt die lateinischen Übersetzungen der alchemistischen Werke arabischer Gelehrten; im 12. Jahrhunderte hatte der Gedankeninhalt der Alchemie in den christlichen Ländern Europas bereits festen Fuß gefaßt. Alchemistische Schriften lateinischen Textes, aller Wahrscheinlichkeit nach in der zweiten Hälfte des 13. Jahrhundertes[162] verfaßt, werden unter die Autorschaft des Namens GEBER gestellt, des Namens einer legendären Persönlichkeit arabischer Naturforschung, in welchem sich die Erinnerung der lateinischen Länder an die Blütezeit arabischer Alchemie konzentriert.

Neben dieser Ausbreitung und Fortbildung der Alchemie durch die treibende Kraft und die Universalität, welche ihre Ideen durch die Kulturarbeit der Syrier und Araber mit dem Strom der Zeiten erlangen, führt noch ein zweiter Weg von den antiken Quellen der Alchemie über die alexandrinische Epoche zum wissenschaftlichen Bewußtsein des mittelalterlichen Abendlandes. Es ist jener breite Weg, auf welchem die praktischen Erfahrungen und technischen Errungenschaften, Handwerke und Künste, den kommenden Zeiten zuströmen. Die Barbarei der ersten Jahrhunderte des Mittelalters hatte den Pfad zur Geistesarbeit der antiken Welt vorübergehend verschüttet, die technischen Kenntnisse jedoch vermochten ihrer Nützlichkeit und zwingenden Notwendigkeit halber den gigantischen Zusammenbruch des Römerreiches zu überdauern und sich ruhig fortzupflanzen. Zur Zeit der Franken in Gallien, der Westgoten in Spanien, der Lombarden in Italien sind nach wie vor Steine und Metalle bearbeitet worden, Zierrat und Geschmeide hergestellt, Stoffe gefärbt, Kriegsinstru-

[162] BERTHELOT: La chimie au moyen-âge. I. 349.

mente ersonnen worden, hat die Präparierung von Heilmitteln ihren Fortgang genommen. Die Kunstfertigkeiten des Orients, die praktischen Kenntnisse der Metallurgisten und Goldschmiede des alten Ägyptens, deren Quelle die Nacht der Zeiten deckt, haben in den alchemistischen Schriften der Alexandriner ihre theoretische Fundierung erfahren, um alsbald den römischen Kunsthandwerkern übermittelt zu werden. Praxis und Theorie, vornehmlich aber die erstere, haben sodann in den Werkstätten des Abendlandes, in Italien und in Frankreich, durch die karolingische Verfallsperiode hindurch bis zum zehnten Jahrhundert ihr reiches Leben fortgeblüht; immer frische Impulse waren in erster Reihe der Technik der Edelmetalle entsprossen, bis endlich gegen das 12. Jahrhundert der künstlerischen und handwerklichen Praxis neue Lebenssäfte mit dem alchemistischen Wissen der Araber zufließen sollten.

Vom Hintergrunde des Bildes, das wir nunmehr in seinen flüchtigen Umrissen vom Ursprung, vom allgemeinen Wesen und der Verbreitung der Alchemie gezeichnet haben, mag sich nun die kurze Schilderung von der Entwicklung des Stoffproblems, von den alexandrinischen Anfängen der Alchemie bis zur Neuentstehung des Atomismus, abheben. Der innige Zusammenhang, der zwischen der Entwicklung des Stoffproblems und jener des menschlichen Erkenntnisvermögens besteht, ist bisher des genügenden betont worden. Philosophische und physikalische Motive kreuzen sich in den Bestrebungen nach Erkenntnis des Wesens der stofflichen Welt. Das philosophische Interesse, mit welchem sich der menschliche Geist der Lösung des Stoffproblems zuwendet, entstammt den Bemühungen nach der Schaffung eines äußeren, umfassenden Weltbildes; das physikalische Interesse entspringt dem viel engeren Gebiete der Naturerklärung. Die Deutung einer Unzahl von Naturerscheinungen erheischt vorerst dringend die, wenn auch hypothetische Beantwortung der Frage nach der inneren Beschaffenheit der den Erscheinungen zugrunde liegenden Körper. Die Beeinflussung des Stoffproblems durch Motive beider Art, durch philosophische sowohl als auch durch physikalische, spiegelt sich deutlich in dem Ideengehalte der Alchemie wieder. „Die Alchemie war eine Philosophie, das heißt

eine rationalistische Auslegung der Metamorphosen des Stoffes", so lautet das Urteil BERTHELOT's in seiner treffenden Bündigkeit.[163]

Die wesenlose Hülle mythischer Phantasien orientalischer und gnostischer Färbung umgibt bereits in den ersten Stadien der Alchemie eine Fülle empirischer Errungenschaften, in Beschreibungen chemischer Prozesse sowie in Vorschriften technischen Inhaltes niedergelegt; sie überdeckt gleicherweise die metaphysischen Theorien über die Konstitution des Stoffes. Der Kern von klaren Ideen über das Wesen der Stoffwelt, auf welchen die mythischen Anschauungen der griechisch-alexandrinischen Alchemisten zu reduzieren sind, steht im Banne der überlieferten Denkart Hellas vorzüglich platonisch-aristotelischer Richtung, sowie unter dem Einflusse der Gedankenwelt des Neuplatonismus, der sich im 3. Jahrhundert unserer Zeitrechnung zu einem großartigen System entwickelt hatte. Wie erinnerlich, nimmt das antike Stoffproblem in seiner ältesten Gestaltung von der Frage nach dem beharrenden Substrate in dem unendlichen Wechsel der Körperwelt seinen Ausgang. Auf die altjonischen Lösungen des Stoffproblems folgt der Atomismus; er beruht in ähnlicher Weise auf dem Streben, die Vielheit der körperlichen Welt, wie sie sich den Sinnen offenbart, aus einem gemeinsamen, einfachen Prinzip zu erfassen. In der weiteren Entwicklung griechischen Denkens entwirft bekanntlich PLATO, wenn auch nicht in völlig eindeutigen Zügen, eine Theorie der Materie, deren Sinn nur im Rahmen der spezifischen Denkart PLATO's zu deuten ist. Von rein abstrakt begrifflicher Fassung ist der aristotelische Begriff der Materie, die Materie ist die bloße Möglichkeit zu allem bestimmten physischen Sein. Auf dem Wege von THALES VON MILET bis auf ARISTOTELES hat somit das griechische Denken in seiner schöpferischen Kraft immer neue Lösungen des Stoffproblems unternommen. In der nacharistotelischen Periode ist die originelle Gestaltungskraft des hellenischen Geistes bereits erlahmt, denn EPIKUR's Physik basiert, wie erinnerlich, völlig auf der Atomistik LEUKIPP-DEMOKRIT's, nur einzelne Züge im Weltbilde der abderitischen Weisen sucht EPIKUR neu zu gestalten und zu verbessern. Stellt das System

---

[163] Les origines de l'alchimie p. 279. Vergleiche zum folgenden den Abschnitt: „Les théories" dieses Werkes.

Epikur's in seinem Materialismus die kräftige Reaktion gegen die platonisch-aristotelische Verflüchtigung des Stoffes zu Ideen dar, so schließt sich im großen Gegensatze hierzu der Neuplatonismus, der letzte Ausklang antiken Denkens, wie er sich namentlich im tief angelegten System Plotin's (204—270 n. Chr.) darbietet, zunächst völlig an Plato an.[164] Die Sinnenwelt ist im Gegensatze zu der übersinnlichen, das Gebiet des veränderlichen, des der wahren Wirklichkeit entbehrenden Seins. Der Grund hiervon kann nur in der Materie liegen, die wir als das allgemeine Substrat alles Werdens und aller Veränderung voraussetzen müssen. Durch die Verschmelzung der im „Timäos" angedeuteten Grundlage alles Körperlichen[165] und der aristotelischen Lehren wird nun im Systeme Plotin's die Materie zum Form- und Bestimmungslosen, zum Schattenbild und zur bloßen Möglichkeit des Seins, zum Nichtseienden, zur Beraubung, und über Plato hinaus erklärt Plotin die Materie sogar für das Urböse, aus dem alles Böse in der Körperwelt stamme. Dem großen Zuge der Ideen folgend, wie sie das griechische und das nachantike Denken in Bezug auf die stoffliche Sinnenwelt beherrschen, haben wir somit in flüchtigster Art jene für unsere Zwecke wichtigsten Resultate zusammenfassend gekennzeichnet, welche das ein Jahrtausend währende Bemühen des menschlichen Geistes um die Lösung des Stoffproblems zeitigt. Das übersinnliche Einheitsbedürfnis, der Drang, von einem einzigen Prinzip aus das Weltgeschehen zu umfassen, war die Triebfeder zu jener Denkarbeit, welche die griechische Philosophie dem Problem der Materie zuwandte. In der Alchemie werden nunmehr die zwingenden Tatsachen der Naturerfahrung laut. Ihre Deutung bewegt sich innerhalb jener Bahnen, in welche das Schwergewicht der überlieferten Autorität platonisch-aristotelischer Naturauffassung das menschliche Erkenntnisvermögen von Naturdingen zwängt. Die Atomistik, die köstlichste Frucht hellenischen Denkens, ist der Nacht völliger Überwindung und Vergessenheit anheimgeraten; der Epikureismus, von so hervorragender Rolle im römischen Geistesleben, ist den alexandrinischen Kulturkreisen fremd. Ja selbst die bloße Nennung des

---

[164] Siehe Zeller Grundriß a. a. O. S. 283 ff. und Baeumker a. a. O. S. 402. — [165] Siehe S. 48 ff.

Wortes Atom ist bis auf eine einzige Stelle in den Handschriften der griechisch-alexandrinischen Alchemisten vergebens zu erspähen. Nur STEPHANUS, ein vielfach mystisch-enthusiastischer Autor aus der ersten Hälfte des 7. Jahrhunderts n. Chr., erwähnt die unsichtbaren und teillosen Körperchen (Atome), aus welchen sich alle Körper zusammensetzen.[166] Das Denken der ersten alchemistischen Naturforscher, im Erfassen konkreter Tatsachen des Naturgeschehens naiv und ungeschult, gießt die dialektisch tief durchdachten Ideen der Philosophie PLATO's und ARISTOTELES' in besondere Formen um. Unsere seinerzeitigen Betrachtungen des „Timäos"[167] haben die Gelegenheit ergeben, den Eingang flüchtig zu kennzeichnen, welchen die Idee der Urmaterie in die Alchemie findet. Jene unausgeprägten und vielfach mythischen Züge des „Timäos", an welche sich die Auffassung zu knüpfen vermag, PLATO habe als die Grundlage des sinnlichen Daseins ein durchaus stoffliches Substrat im Sinne gehabt, nehmen in den Schriften der griechisch-alexandrinischen Alchemisten feste Formen an; daß alle Körper der Natur aus einer Urmaterie, dem Merkur der Philosophen (mercurius philosophorum) hervorgegangen sind, wird zum fundamentalen Dogma der Alchemie Alexandriens. So berichtet der Kommentar, welchen SYNESIOS im 4. Jahrhundert unserer Ära zur Schrift des Pseudo-DEMOKRIT, einem der ältesten Denkmäler alchemistischer Literatur, verfaßt, von dem Merkur, der alle möglichen Formen annimmt, ebenso wie das Wachs alle Farben anzieht. Auf einen Körper, der aus den vier Elementen gebildet ist, fixiert, wird der Merkur fest, er besitzt eine mächtige Verwandtschaft.[168] Und die Operationen der Alchemie werden im folgenden mit der Arbeit des Handwerkers verglichen, der Holz bearbeitet, um daraus einen Sitz, einen Wagen oder ein anderes Ding zu gestalten, und hierbei nur den Stoff modifiziert, ohne ihm eine andere Wesenheit als die Form zu verleihen, desgleichen wie Erz zur Statue oder zum runden Gefäß geformt wird. Der Merkur bleicht alles, er verändert die Farbe der Körper und beharrt an und für sich; selbst wenn er dem Augenscheine nach nicht beharrt, verbleibt er in den Körpern eingeschlossen. Zo-

[166] BERTHELOT: Introduction p. 293, Les origines de l'alchimie p. 263, Fußnote 2 und Collections p. 87/88. Traduction. — [167] Siehe S. 49 ff. — [168] BERTHELOT: Origines p. 272 und Collections p. 67, Trad.

SIMOS[169], der älteste der alchemistischen Schriftsteller, von welchem authentische Schriften vorhanden sind, spricht von einer homogenen und vielfarbigen Materie, welche die vielgestaltige Natur in sich schließt. AENEUS VON GAZA[170], aus dem 5. Jahrhundert n. Chr., legt zunächst dar, daß der menschliche Körper durch den Zusammentritt der vier Elemente (Erde, Wasser, Luft und Feuer) gebildet werde, die bei seiner Auflösung wieder entstehen, um sodann die Idee von der Urmaterie in den folgenden schönen Vergleich zu kleiden: „Die Form beharrt, während die Materie Wandlungen erleidet, da sie geschaffen wurde, um alle Qualitäten aufzunehmen. Es handle sich um eine Statue des ACHILLES in Erz; fassen wir sie zerstört in Gedanken, und ihre Trümmer in kleine Stückchen zerteilt; wenn nun ein Künstler dieses Erz sammelt, es reinigt, es durch eine besondere Wissenschaft in Gold umwandelt und diesem die Gestalt des ACHILLES verleiht, so wird ACHILLES nun in Gold anstatt in Erz geschaffen sein; aber es wird dies dennoch ACHILLES sein. Desgleichen verhält sich die Materie des vergänglichen und verweslichen Körpers, welche durch die Kunst des Schöpfers rein und unsterblich wird." Auch im Ideenkreise anderer Alchemisten dieser Periode, so des PELAGIUS[171] und des vorhin genannten STEPHANUS fällt der Vorstellung von einer ureinzigen, polymorphen Materie eine gewichtige Rolle zu.

Die Idee von dem Merkur der Philosophen, als der Urmaterie, welche allen natürlichen Körpern zugrunde liegt, fesselt an dieser Stelle unser besonderes Interesse. Nicht nur steht der alchemistische Grundbegriff des Mercurius im engsten Zusammenhange mit dem fundamentalen Problem der Alchemie, der Metallveredlung, der Mercurius behält seine durchgreifende Bedeutung für die Auffassung des Stoffproblems in den zukünftigen Etappen der Alchemie, ihrer arabischen und ihrer lateinischen Phase, bei. Zur Zeit des peloponnesischen Krieges taucht in der antiken Welt ein neuer Stoff auf. In seinem metallischen Habitus, in seinem hell-

---

[169] BERTHELOT a. a. O. S. 179 und a. a. O. S. 117. ZOSIMOS stammt wahrscheinlich aus dem 4. Jahrhunderte n. Chr. — [170] BERTHELOT: Origines p. 75. Zu den einzelnen Namen griechischer Alchemisten siehe auch KOPP: Beiträge a. a. O. I. und II. Stück. — [171] Das Datum seiner Lebenszeit ist ungeklärt.

schimmernden Glanze gleicht er jenem Edelmetalle, dessen Kenntnis sich in graue Urzeiten verliert, dem Silber. In seiner Widerstandskraft gegen zersetzende Agentien entfernt er sich nicht weit von seinem älteren Verwandten, dabei ist er flüssig und verdampfbar. Es ist das Quecksilber, das „flüssige Silber".[171a] Sein widerspruchsvoller und absonderlicher Charakter, der metallisches mit flüssigem und flüchtigem verbindet, mußte die orientalische Einbildungskraft lebhaft entzünden. Sein tiefgehender Einfluß auf andere Metalle, namentlich aber auf das Gold, hatte sich frühzeitig der Erfahrung dargeboten; das Goldamalgam wird zur Durchführung von Vergoldungsprozessen benützt, und VITRUVIUS[172] gibt sogar eine genaue Vorschrift über die Entgoldung gestickter Gewänder mit Hülfe des Quecksilbers. Sollten nicht innige Beziehungen dieses flüssige Silber an das wahre Silber, an das Gold, ja vielleicht auch an alle übrigen Metalle knüpfen, derart, daß mit einem geschickten Kunstgriff, der den merkwürdigen Stoff vor allem anderen seiner Flüssigkeit und Flüchtigkeit beraubt, ihn „fixiert", die Vorstufe zur heiß ersehnten Umwandlung dieses Stoffes in Silber oder Gold überwunden war? Denn nun galt es nur noch, dem fest und beständig gewordenen Stoff ein färbendes Prinzip einzuverleiben, weiß oder gelb, wie etwa Schwefel oder das „Arsenicum" (Auripigment)[173], dessen schon der Stagirite Erwähnung tut. Eine Unsumme empirischer Beobachtungen schien diese Schlußweise gut zu heißen. Als einziges Metall bot die Natur das Gold in gediegenem Zustande dar; das Eisen, Blei, Kupfer, Zinn und selbst das Silber, Metalle prähistorischen Ursprungs, mußten durch mehr oder minder komplizierte Prozesse aus ihren Verbindungen mit dem Sauerstoff oder dem Schwefel abgeschieden werden. Ohne in feste Regeln gefaßt zu sein, nur von einer traditionellen Empirie geleitet, mußten die metallurgischen Prozesse naturgemäß Produkte liefern, die einander ähnlich, doch nicht in allen Zügen identisch waren; dazu traten

[171a] Die Ägypter dürften es schon früher gekannt haben. Bei Kurna wurde es in Gräbern der 18.—19. Dynastie (demnach aus dem 16.—15. Jahrhundert v. Chr.) durch SCHLIEMANN nachgewiesen. STRUNZ: Über die Vorgeschichte und die Anfänge der Chemie. Leipzig und Wien 1906. S. 54, Fußnote 3. — [172] KOPP: Geschichte der Chemie IV, 196. — [173] KOPP a. a. O. S. 89. Siehe auch BERTHELOT: Introduction p. 282.

Legierungen mit ihrer Veränderlichkeit in dem Gehalte der Komponenten. So lehrte die Erfahrung eine Mehrzahl von Varietäten an diesem oder jenem Metall kennen; so mußte sich schließlich der Glaube an die unbedingte Veränderungsfähigkeit der Eigenschaften jedes einzelnen metallischen Produktes tief in den primitiven wissenschaftlichen Sinn jener Zeiten versenken. Nach der Anschauung der Alchemisten jener frühen Periode war der Merkur in zweierlei Gestalt darstellbar, das eine Mal aus dem Zinnober, das andere Mal aus dem Auripigment. In der einen wie in der anderen Gestalt ist er flüchtig und der Sublimation fähig, bleicht er das Kupfer, liefert er rote Verbindungen mit dem Schwefel. An diese plumpe Verwechslung des Quecksilbers und des metallischen Arsens miteinander schloß sich die Auffassung von den verschiedenen Varietäten des Merkurs an, die resultieren sollten, je nachdem der Zinnober, mit verschiedenartigen zersetzenden Agentien vermengt, in einem Mörser aus Kupfer, Blei oder Zinn zerrieben worden war. In jedem einzelnen Falle, so war die irrige Vorstellung, hatte das betreffende Metall des Mörsers den Charakter der Merkurvarietät beeinflußt. So war in dem Worte Merkur eine Vielzahl von Modifikationen eines Stoffes inbegriffen, und von der Vorstellung des gewöhnlichen Quecksilbers schwingt sich alsbald die Einbildungskraft zum Begriff des Mercurius philosophorum auf, der Urmaterie der Metalle, der primären Materie, die nur der günstigen Färbung bedürfe, um zu Gold oder Silber zu werden. Von dieser Erkenntnis aus sind nun zwei Wege zum großen Ziele der Alchemie vorgezeichnet. Der eine führt direkt über den Merkur der Philosophen, welchen aus den unedlen Metallen zu extrahieren und zu färben es gilt. Dieser Weg ist jedoch weniger gangbar als der zweite, der indirekte Weg im gewissen Sinne, dessen Richtung folgendermaßen gekennzeichnet ist: durch passende Agentien muß auf die unedlen Metalle, denen ja der Mercurius zugrunde liegt, eine gewaltsame Einwirkung derart vollzogen werden, daß aus dem Komplex der Eigenschaften des betreffenden Metalles jene verschwinden, welche den Eigenschaften des „vollkommensten“ aller Metalle, des Goldes, direkt entgegengesetzt sind, während die übrigen, den Eigenschaften des Goldes analog, ihre „Vervollkommnung“ zu erfahren

haben; Hand in Hand mit dieser Operation muß die Färbung durch Substanzen gehen, die unter dem generellen Namen des Steines der Weisen zusammengefaßt wurden. Dem gewöhnlichen Quecksilber mußte die Flüssigkeit und Flüchtigkeit entzogen werden, oder dem Ideenkreise jener Zeit näher angemessen, mußten ihm ein flüssiges und ein flüchtiges Prinzip entzogen werden, denn beide hindern das Quecksilber, die „Vollkommenheit" zu erreichen.

Die Idee eines metallischen Substrates von universellem Charakter läßt sich jedoch in eine weiter entlegene Zeit zurück verfolgen, als es die alexandrinische Epoche ist. Die Alchemisten des alten Ägyptens haben dem Blei, welchem sie den Namen Osiris beilegten, den gleichen Rang zugewiesen, wie ihn der Merkur der Philosophen späterhin erlangen sollte. „Osiris ist das Prinzip alles Flüssigen", sagt OLYMPIODOR, ein Schriftsteller des 5. Jahrhunderts n. Chr.[174] Anscheinend ist das Blei als Träger der Schmelzbarkeit der Metalle betrachtet. „Die Ägypter haben erkannt, daß alle Substanzen aus dem Blei allein erzeugt werden; denn aus dem Blei stammen auch die drei anderen Körper"[175] (dies sind das Zinn, das Kupfer und das Eisen), dieser Ausspruch findet sich in den Schriften des ZOSIMOS vor. Und in den Schriften des Pseudo-DEMOKRIT heißt es: „Wenn die Bleiglätte (Lithargyrum) ihre Flüssigkeit verliert, kann sie nicht wieder zu Blei werden. Doch trifft dies oft zu, denn das Wesen des Bleis setzt sich leicht in viele andere Wesen um."[176] Aussprüche dieser Art wurzeln im letzten Grunde in der primitiven, metallurgischen Erfahrung, welche unter dem Namen Blei nicht nur die Vielheit der leicht schmelzbaren Bleilegierungen von heller Farbe, sondern auch blei- und silberhaltige Mineralien zusammenfaßt. War ja das Silber im gewissen Sinne das „vollkommene" Blei.[177]

Unsere Andeutungen über die Vorstellungen, welche sich auf die „Vervollkommnung" des Merkurs der Philosophen beziehen, haben es genügend erkennen lassen, wie in den alchemistischen Anschauungen der alexandrinischen Periode die ge-

---

[174] BERTHELOT: Collect. trad. p. 103. — [175] BERTHELOT a. a. O. S. 167. — [176] BERTHELOT a. a. O. S. 55/56. — [177] BERTHELOT: Introduction p. 83, ferner Origines p. 228 und Revue des deux mondes 1893. Bd. 119. S. 323.

dankliche Scheidung des stofflichen Substrates von seinen Eigenschaften: seiner Festigkeit, seiner Flüssigkeit, seiner Flüchtigkeit, bereits klar vollzogen ist. Die Eigenschaften des Naturkörpers werden als für sich bestehende Wesenheiten behandelt, welche dem Körper entzogen oder einverleibt werden können. Nach unseren eingehenden Betrachtungen der qualitativen Elementenlehre[178] bedarf es zu dieser alchemistischen Grundidee keines näheren Wortes der Erläuterung mehr. Jedoch auch die einzelnen Phänomene, wie die Verflüssigung, die Verbrennung, die Verflüchtigung, denen ein bestimmter Stoff zugrunde liegt, nehmen die Natur gesonderter Wesenheiten an; sie erhalten ihre Versinnlichung in den vier Elementen empedokleischer Fassung.[179] Die Vierzahl der Elemente wird mit dem einen Worte: „Tetrasomia“[180] umfaßt; die Tetrasomia repräsentiert den stofflichen Bestand der Naturkörper. Erschien uns die Elementenlehre des EMPEDOKLES als plumpe Symbolisierung der drei Aggregatzustände, denen das glänzende Begleitphänomen der Verbrennung, das Feuer, zur Seite tritt, so erfährt diese Art der Symbolisierung in den alchemistischen Handschriften der alexandrinischen Autoren ihre Potenzierung, denn nicht nur die Körper der unbelebten Natur, vielmehr die Gesamtzahl belebter und unbelebter Körper erfährt ihre Einteilung in vier Kategorien, je nachdem hervorstechende Eigenschaften des Körpers, seine Entstehungsweise, seine Lebensbetätigung, mit diesem oder jenem Elemente aus der empedokleischen Vierzahl in ursächlichem Zusammenhang steht. So eignen dem Feuer die Metalle und alle anderen Körper, deren Entstehen auf feurigem Wege sich vollzieht; der Luft gehören die Tiere an, welche durch Lungen athmen, dem Wasser die Fische, der Erde die Pflanzen und so fort, und diese Vierteilung der Natur wurde auf DEMOKRIT VON ABDERA zurückgeführt. Sehr bemerkenswert ist die Vielfältigkeit des Vorstellungskomplexes über die Beschaffenheit des Stoffes; über den platonisch-aristotelischen Kreis hinaus spinnen sich die geistigen Fäden zu den Atomisten, und selbst bis zu THALES VON MILET. So gibt der vorhin genannte OLYMPIODOR förmlich eine vergleichende Darlegung der antiken Stofftheorien von dem

---

178 Siehe S. 70 ff. — 179 Siehe S. 35 ff. — 180 soma (griech.) = Leib, Körper.

MILESIER bis auf ARISTOTELES, um sie mit den Stofflehren der Alchemisten in Parallele zu setzen.[181]

Unsere Skizze von den Anschauungen der griechisch-alexandrinischen Alchemisten über das Wesen des Stoffes bedarf noch der schließlichen Ergänzung nach einer Richtung hin. Mehrerlei Quellen sind diese Anschauungen entsprungen, so haben es unsere Darlegungen erkennen lassen; und so muß zum Schluß auch noch jene Quelle aufgedeckt werden, aus welcher den Stofflehren der Alexandriner jenes Gepräge zufließt, das uns heutigentags so mystisch-wunderlich erscheinen mag: es ist der Neuplatonismus mit seiner Grundtendenz zur religiösen und poetisch-phantastischen Weltauffassung. PLOTIN's Anschauungen von der Materie haben wir bereits flüchtig berührt.[182] PLOTIN entwickelt in seinem System den fundamentalen Gedanken der Entwicklung der Vielheit und Mannigfaltigkeit der Sinnenwelt aus der absoluten Einheit und Einfachheit eines über alles Sein und alles Denken hinausliegenden Urwesens[183], der Gottheit. Wie das Licht, das von einer einzigen Quelle ausgeht, in der Einheit seines Wesens verharrt und doch in zahllosen Spiegelbildern ein Vielfaches wird, so kann ein einziges, einfaches Urwesen Eines bleiben und doch in der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen sich dartun. Wie das Licht, das rings um eine Lichtquelle aufleuchtet, mit der zunehmenden Entfernung immer mehr an Helligkeit einbüßt, bis es zuletzt in Finsternis übergeht, so bildet auch die Gesamtheit der von dem obersten Ureinen abstammenden Wesen eine Stufenreihe abnehmender Vollkommenheit. Eine ununterbrochene Stufenfolge setzt sich vom reinen Licht des absoluten Seins des Ureinen zum mangelhaften Sein der Körperwelt und zum schließlichen Nicht-Sein der Materie fort. Die Materie ist, wie schon vorher erwähnt, das Schattenbild und die bloße Möglichkeit des Seins, das Nicht-Seiende, sogar das Urböse in der Körperwelt. Die Sinnenwelt ist nur das schattenhafte Abbild der wahrhaft wirklichen, übersinnlichen Welt, dem Reiche der Ideen. Was im Gebiete der Sinnenwelt der Naturnotwendigkeit, den Raum-

---

[181] BERTHELOT: Origines p. 254 und Collect. trad. p. 88 ff. — [182] Siehe S. 94. — [183] ZELLER a. a. O. III/2 S. 496 ff., 3. Aufl., ferner Grundriß a. a. O. S. 286 ff. und BAEUMKER a. a. O. S. 411.

und Zeitverhältnissen unterworfen, was der Geteiltheit, Mannigfaltigkeit und Veränderlichkeit unterliegt, ist in der übersinnlichen Welt in vollkommener Wirklichkeit Eines, ist der absoluten Harmonie und Vollkommenheit zuteil geworden. Zwischen der Welt der Ideen und der Körperwelt bedarf es der Vermittlung. Aus dem Urwesen geht als erstes Erzeugnis der Nus[184] hervor, das Denken, welches zugleich das höchste Sein ist. PLOTIN war zu dem „Ersten" gekommen, indem er über alles Sein und Denken hinausging; im Herabsteigen von jenem Ersten müssen nun diese letzteren die nächste Stufe bilden. Wie aus dem Urwesen der Nus, so geht aus dem Nus die Seele hervor, sie steht an der Grenze der göttlichen, der übersinnlichen Welt; trotzdem sie unteilbar und unkörperlich ist, neigt sie sich doch zum Teilbaren und Körperlichen, für das sie ihrer Natur nach sorgt und ihm die vom Nus ausgehenden Wirkungen vermittelt. Die erste Seele oder die Weltseele ist nicht bloß ihrem Wesen nach außer der Körperwelt, sie wirkt auch auf die Körperwelt nicht unmittelbar ein. Sie strahlt jedoch eine zweite Seele von sich aus, welche PLOTIN die Natur nennt, und erst diese ist mit dem Leibe der Welt ebenso verbunden, wie unsere Seele mit unserem Leib. Jede dieser beiden Seelen umfaßt eine Vielheit besonderer Seelen, welche in ihr als ihrem Ursprung verknüpft sind und sich von ihr aus in die einzelnen Teile der Welt erstrecken. Nicht die Seele tritt in den Körper ein, sondern der Körper in die Seele, wodurch er an der Welt des Lebens teilnimmt, so daß die Gesamtheit der verschiedenen Körper beseelt, die Weltseele jedoch ein ungeteiltes Ganze, ohne Quantität, ohne Masse ist. Die Seele ist somit die Ursache, aus welcher die sinnliche Welt hervorgeht, sie ist die schöpferische Kraft der Natur und das weltordnende Prinzip. PLOTIN's Idee der Weltseele hat ihre Vorläufer. PLATO hatte sich im „Timäos" eines dynamischen Prinzips, der Weltseele[185], teils in mythischer und phantastischer Weise bedient. Die Weltseele PLATO's ist durch das Universum verbreitet und bewegt sich vermöge ihrer Natur unablässig nach festen Gesetzen; sie bewirkt sowohl die Verteilung des Stoffes an die himmlischen

---

[184] Siehe hierzu S. 35. — [185] ZELLER a. a. O. II/1 S. 646 ff., 3. Aufl.

Sphären als auch die Bewegung der letzteren; in der Ordnung und dem Umlaufe der Gestirne offenbart sich ihre Harmonie und ihr Leben. In der nacharistotelischen Periode hatten die Stoiker[186] diesem dynamischen Prinzip im Sinne ihres schroffen Materialismus eine besondere Ausbildung gegeben. Da nach der Lehre der Stoa das Wirkliche als dasjenige zu definieren ist, was die Kraft habe, zu wirken oder zu leiden, diese Eigenschaft aber nur in den Körpern zu finden ist, so ergibt sich der Satz, daß es außer den Körpern nichts Wirkliches geben könne. In letzter Beziehung gehen alle Wirkungen von einem Prinzip aus, denn die Welt könnte nicht diese festgeschlossene Einheit, dieses durchaus einstimmige Ganze sein, wenn sie nicht von einer und derselben Kraft beherrscht sein würde. Da nun alles Wirkende ein Körperliches ist, müssen wir uns auch die höchste wirkende Ursache körperlich denken. Da alle Eigenschaften und Kräfte, alle Bestimmtheiten, durch welche sich die Dinge unterscheiden, von dem Dasein gewisser feuer- und dunstartiger Stoffe herrühren, so muß auch die höchste wirkende Ursache in der gleichen Art gedacht werden. Diese feuer- und dunstartigen Stoffe gehen vom Mittelpunkt jedes Dinges aus und bilden, vom Umkreis wieder zum Mittelpunkt zurückkehrend, seinen inneren Zusammenhalt. Wir sehen, daß die Wärme es ist, an welche die Ernährung und das Wachstum, das Leben und die Bewegung allenthalben gebunden ist, daß alle Dinge ihre natürliche Wärme in sich haben und alle durch die Himmelswärme erhalten und belebt werden. Was von allen Teilen der Welt gilt, das muß auch von dem Weltganzen gelten: die Wärme oder das Feuer, so lehrten die Stoiker im Anschlusse an HERAKLIT[187], ist die Kraft, die letzte Weltursache, auf welche das Leben und der Bestand der Welt zurückzuführen ist. Als das „Pneuma“ oder das „künstlerische Feuer“ durchdringt es erzeugend und gestaltend alle Dinge der Welt.

Die Vorstellung einer Weltseele, der Gedanke an ein weltordnendes, lebendiges Prinzip pulsiert lebhaft in den Anschauungen der alexandrinischen Alchemie. Die Chemie war, ihrer

---

[186] Der Gründer der stoischen Schule ist ZENO, der um 320 v. Chr. nach Athen kam. Siehe ZELLER a. a. O. III/1 S. 117 ff., 3. Aufl. — [187] Siehe S. 7.

Natur gemäß, seit jeher von der Neigung beherrscht, in einer Art materialistischen Metaphysik Begriffe zu verstofflichen, sie in anschaulichen Gestalten zu fixieren. So ist in den Schriften der griechisch-alexandrinischen Alchemisten die Auffassung gang und gäbe, daß die Metalle, gleich dem Menschen, Leib und Seele besitzen. So sagt beispielsweise STEPHANUS ausdrücklich: „Das Kupfer ist wie der Mensch: es hat eine Seele und einen Körper.... Welches ist seine Seele und welches ist sein Körper? Die Seele ist der allerfeinste Teil . . ., das heißt, der färbende Geist."[188] Und OLYMPIODOR berichtet in der vorhin genannten vergleichenden Darlegung, daß ZOSIMOS, die „Krone der Philosophen", „dessen Sprache die Fülle des Ozeans besitzt"[189], der Meinung folge, daß der „flüchtige Dampf" („Αιθαλη", Aithalē) das Absolute sei.[190] Charakteristischerweise findet sich das Wort „Aithalē" in den Handschriften jener Epoche hauptsächlich zur Bezeichnung des Merkur im Zustande der Verflüchtigung verwendet. So vermögen wir auf Grund unserer flüchtigen Kennzeichnung neuplatonischer Gedankenreihen und ihrer antiken Vorgänger ein interessantes Schlußergebnis zu ziehen. Indem die Alchemie, von ihrer naturgemäßen Tendenz beherrscht, im eigenen Ideenkreise philosophische Begriffe quasi durch Verstofflichung anschaulich zu gestalten, mit dem neuplatonischen Denken in Berührung tritt, ist neuerdings eine Quelle erschlossen, aus welcher ihr die Idee von der Urmaterie zufließen mußte. Die Lehre von der Entwicklung der Vielheit aus der Ureinheit, mehr in poetischen Bildern gefaßt als in streng logischer Spekulation entwickelt, strahlt denn auch ihren Abglanz über die Schriften der Alchemisten alexandrinischen Wesens. „Alles stammt aus der Einheit", sagt ZOSIMOS, „alles ordnet sich in ihr ein; sie erzeugt alles."[191] Es bedarf nun keines weiteren Wortes der Erläuterung mehr, daß die Alchemie, als sie Philosopheme in eigene Formen umprägte, den materialistischen Anschauungen der Stoa von einem alles durchdringenden, feinen, feuerartigen Stoff als der Weltseele, un-

[188] BERTHELOT Origines p. 276. — [189] ZOSIMOS wurde im allgemeinen von den alchemistischen Schriftstellern als hohe Autorität gepriesen. Siehe KOPP: Beiträge a. a. O. I, 162. — [190] BERTHELOT a. a. O. S. 260 und Collect. trad. p. 91. — [191] BERTHELOT a. a. O. S. 274.

willkürlich sich nähern mußte. Die Seele der Metalle wird zu einer „materia prima“, zu einer gemeinsamen, sublimen Quintessenz der Metalle.

Somit wäre nun die Aufgabe, in großen Umrissen die Anschauungen der griechisch-alexandrinischen Alchemie über das Wesen des Stoffes zu schildern, gelöst. Die Ideen der Alexandriner fließen durch Vermittlung syrischer Schulen, in dem vorhin beschriebenen Gang der Geschichte, den Arabern zu, wo sie ihre Fortbildung erfahren. Die Entwicklung des Stoffproblems innerhalb der arabischen Alchemie zu betrachten, soll nun das Ziel unserer folgenden Bemühungen sein.



Die Stofflehre der arabischen Alchemie und die Übermittlung dieser Lehre an die christlichen Länder.

Die uralte Priesterweisheit des Orients, hellenischer Geist und die Philosophie der ersten Jahrhunderte des Christentums mit ihrer religiösen und mystischen Grundrichtung, haben jenen Theorien ihre eigenartigen Züge aufgedrückt, welche mit der, grauen Vorzeiten entstammenden Tradition empirischer Kenntnisse, im alexandrinischen Kulturkreise zu einem Ganzen, der griechischen Alchemie, verschmolzen waren. Den Arabern war dank dem Fleiße syrischer Gelehrter das Los der Erben zugefallen, die den erworbenen Schatz sichteten und mehrten und ihn dem Abendlande zutrugen. Doch bevor noch die Araber ihre historische Mission zu erfüllen vermochten, bahnen sich, wie erinnerlich, die praktischen Erfahrungen und die technischen Fertigkeiten des Orients durch die Vermittlung römischer Künstler ihren selbständigen Einzug in Europa. Zweifach ist somit der Pfad, auf welchem das alchemistische Erbe der absterbenden Kultur Asiens und Afrikas mit ihrem stark hellenischen Einschlage den Völkern des Abendlandes zufließt, die Praxis eilt der Theorie voraus, um des späteren durch das alchemistische Wissen der Araber einen neuen Aufschwung zu empfangen. Zweierlei Art sind auch die authentischen Dokumente arabischer Alchemie, teils sind sie wirkliche chemische Abhandlungen beschreibender und praktischer Natur, deren Prinzipien und Methoden weit über jene der Alexandriner und Syrier hinausgehen, teils sind sie theoretische Darlegungen mit philosophischem und mystischem Gepränge. Jene letzteren Handschriften enthalten Ideen über die Konstitution der Metalle, deren Keime in der alexandrinischen Alchemie entstanden waren, um sodann von den Arabern der systematischen Entwicklung zugeführt zu werden.

Unter den arabischen Alchemisten, deren Biographien in mehreren Enzyklopädien arabischer Sprache uns erhalten geblieben sind, ragt vor allem DSCHÂBIR BEN HAJJÂN (Giaber, Geber)[192] hervor. Voller Unklarheiten und Widersprüche sind die Berichte der arabischen Chronisten über die Lebensepoche, den Geburtsort und die Abstammung dieses Mannes, ja, seine Existenz selbst ist sogar Gegenstand des Zweifels gewesen.[193] Wie dem auch sei, der Glanz hochgepriesener Autorität und ruhmvoller Verehrung umwebt das Andenken dieses Mannes, dessen Lebensjahre im 8. und 9. Jahrhundert verflossen sein dürften. Den Schauplatz seiner Tätigkeit verbirgt völlige Ungewißheit; außer Tarsus in Cilizien (das mit Tortosa in Spanien verwechselt wurde)[194] wird Harran, die ehemalige Hauptstadt der Sabäer, sowie Kufa am Euphrat und Thus in der persischen Provinz Khorassan als die Heimat DSCHÂBIRS genannt. In der Perspektive der kommenden Jahrhunderte lateinischer Alchemie ist dieser legendäre DSCHÂBIR zu einer fast mythischen Persönlichkeit herangewachsen. Lateinische Schriften hochbedeutsamen alchemistischen Inhalts werden, wie bereits erwähnt, aller Wahrscheinlichkeit nach in der zweiten Hälfte des 13. Jahrhunderts, sowie im Laufe des folgenden Jahrhunderts unter der Patronanz seines hochverehrten Namens in die Welt gesetzt; sie sind die Basis zur alchemistischen Forschung des 14. Jahrhunderts geworden. Das geschichtliche Urteil über die Errungenschaften der arabischen Alchemie, welches die Fülle an praktischen Kenntnissen und den Ideenreichtum dieser lateinischen GEBER-Schriften bislang zum Maßstabe nahm, hat dank den Bemühungen BERTHELOT's, der geschichtlichen Wahrheit zur Steuer, eine beträchtliche Restringierung erfahren müssen. Nicht die Begründer der Alchemie sind die Araber, wie es vor der eingehenden Durchforschung griechischer und arabischer Texte, in den letzten Jahrzehnten vollzogen, scheinen mochte, wohl aber sind die Araber die würdigen Erben und Mehrer des alexandrinischen Schatzes. Die arabischen Werke, welche den Autornamen

[192] WÜSTENFELD: Geschichte der arabischen Ärzte und Naturforscher. S. 12 Nr. 25. — [193] Siehe hierzu KOPP: Beiträge a. a. O. I/14 Fußnote 15, ferner BERTHELOT: La chimie aul moyen-âge I/366 ff. und III/16 ff. Siehe auch Revue des deux mondes. 1893, Bd. 119 S. 548 u. 550 ff. — [194] WÜSTENFELD a. a. O.

Dschâbirs tragen, Kostbarkeiten der Bibliotheken zu Paris und Leiden, sind unter den Auspizien Berthelot's ins Französische übertragen worden.[195] Sie erinnern in ihrer dunklen und allegorischen Sprache, ihrem Symbolismus und ihrem Pathos stark an die Schriften griechisch-alexandrinischen Ursprungs. Berthelot zieht übrigens die Möglichkeit in Betracht, daß diese Texte, wie so viele andere, als deren Autor die arabischen Chroniken Dschâbir rühmen, jünger sind als jene Epoche, in welche Historiker die Existenz des berühmten Mannes verlegen; sein glanzvoller Name wäre somit nur erborgt, um spätere Schriften zu schmücken. Die Summe an jenen Ideen, welche das Stoffproblem tangieren, ist aus den weitschweifigen und regellosen Auslassungen der Handschriften nicht leicht zu entwirren. Die aristotelische Elementenlehre bildet den Leitstern für Dschâbirs Ansichten über die Zusammensetzung der Naturdinge. Die Handschriften enthalten sogar einen Auszug aus der Logik des Aristoteles, „vor welchem sich alle Philosophen in Bewunderung neigen".[196] Nachdem Gott alles aus den vier Elementen: dem Feuer, dem Wasser, der Luft und der Erde geschaffen hatte, ließ er die vier Qualitäten: die Wärme, die Kälte, die Feuchtigkeit und die Trockenheit aus der Welt heraustreten. Die Kombinationen unter diesen Qualitäten haben das Feuer erzeugt, welches Wärme und Trockenheit enthält, das Wasser, welches Kälte und Feuchtigkeit, die Luft, welche Wärme und Feuchtigkeit, und die Erde, welche Kälte und Trockenheit in sich schließen. Sind die Qualitäten im Gleichgewicht, dann beharren die betreffenden Dinge unverändert den Zeiten zum Trotz, so namentlich das Gold.[197] „Ein jeder von den Körpern der drei ursprünglichen Kategorien, welche im Weltall existieren (es sind dies die Tiere, die Pflanzen und die Steine), enthalten notwendigerweise Wärme, Kälte, Trockenheit und Feuch-

---

[195] Berthelot gibt ihre Titel wie folgt wieder: Le livre de la Royauté; le Petit livre de la Miséricorde; le livre des Balances; le Grand livre de la Miséricorde; le Livre de la Concentration et le Livre du Mercure oriental. — [196] Berthelot: La chimie au moyen-âge III 141. Dieser Band, auf welchen sich die folgenden Seitenzahlen in den Fußnoten beziehen, enthält die Übersetzung der arabischen Texte. — [197] p. 147.

tigkeit.“[198] „Die Kälte und die Trockenheit scheiden nichts auseinander, sie führen im Gegenteil zusammen. Nur mit Hülfe der Wärme und der Feuchtigkeit kann die Operation der Zerlegung und der Auflösung ausgeführt werden; denn die Wärme ist das Bewegende. Die Kälte und die Trockenheit vollführen nichts anderes, als die Teilchen (particules) zusammenzuhalten.“[199] Die Vorstellung von der Beseelung aller Körper durch ein mehr geistiges Fluidum, wie wir sie in den Schriften der Alexandriner als verstofflichtes Abbild neuplatonischer Spekulationen erkannten[200], findet sich in ausführlicher Weise dargelegt. Die Masse der körperlichen Dinge ist einzig nur der Ort zum Aufenthalt und zur Zuflucht der geistigen Dinge. Der Körper, welcher als Substrat zurückbleibt, nachdem die treibende Kraft ihn verlassen hat, kann sich mit dem Geiste wieder vereinigen, durch den allein er Kraft besessen hatte. Die beständigsten Dinge sind jene, welche mehr Körperliches und weniger Geistiges enthalten, wie das Gold, das Silber und ähnliche Stoffe. Am leichtesten verschwinden unter den Körpern jene, welche mehr an Geistigem enthalten, wie Mercurius, Sulfur und Arsenicum.[201] Der Vergleich zwischen den Metallen und dem Leibe und der Seele des Menschen wird eingehend entwickelt. Ebenso wie der Leib des Menschen weder die Seele eines Vogels noch eines anderen Tieres in sich aufzunehmen vermag, kann auch die Seele, welche der Merkur ist, nur in jene Körper eindringen und sich darin behaupten, welche ihr zukommen, und zwar sind derartige Körper: das Gold, das Silber, das Blei, das Kupfer und das Eisen.[202] Sämtliche dieser Ideen bewegen sich in der Fährte griechisch-alexandrinischer Alchemie; seinen eigenen Weg betritt Dschâbir mit der Lehre von den geheimen, den okkulten Eigenschaften der Dinge, im Gegensatz zu den äußeren, sichtbaren Eigenschaften. Er entwickelt diese Lehre in einer dialektischen Art, wie sie den Alexandrinern noch fern liegt.[203] Das Blei ist Gold in seinem

[198] p. 160. — [199] p. 182. — [200] Siehe S. 104. — [201] p. 176. — [202] p. 169/70. Das Zinn dürfte wahrscheinlich als Varietät des Bleies betrachtet sein. — [203] Dunkle Andeutungen dieser Lehre lassen sich immerhin bei den griechisch-alexandrinischen Autoren finden. So der Ausspruch des Synesios: „Verwandle ihre Natur der metallischen Körper, denn die Natur verbirgt sich im Innern“.

Innern, das Zinn ist Silber in seinem Innern. Denn das Blei ist außen kalt und trocken, innen jedoch sicherlich warm und feucht. Das Gold dagegen ist außen warm und feucht, jedoch kalt und trocken im Innern. Somit ist das Innere des Goldes gleich dem Äußeren des Bleies und das Äußere des Goldes gleich dem Innern des Bleies. Die gleiche Schlußweise wird auf den Vergleich von Zinn und Silber angewandt; daran schließt sich die Darlegung, in welcher Weise Kälte und Trockenheit aus dem Blei auszutreiben und seinem Äußeren Wärme und Feuchtigkeit mitzuteilen sind, das heißt, wie Blei in Gold transmutiert wird.[204] Die Lehre von den beiderlei Eigenschaften findet sich in der späteren lateinischen Alchemie wieder.

Diese kurze Skizze der Ideen über das Wesen des Stoffes, wie sie sich in den Dschâbir-Schriften darbieten, mag eine schwache Vorstellung davon bieten, in welcher Art die einfachsten Daten der experimentellen Erfahrung in den dialektischen Zwang aristotelischer Naturauffassung gepreßt werden. In wohltuendem Gegensatz hierzu steht eine Stelle in den Schriften, die von einer vereinzelten realen physikalischen Beobachtung Zeugnis liefert; wenngleich diese Stelle auch nicht in direktem Zusammenhang mit dem bisher vorgebrachten steht, sei sie dennoch ihres hohen Interesses wegen wiedergegeben: „Es gab zu . . . . einen Magneten“[205], so berichtet Dschâbir, „welcher ein Eisenstück von 100 Drachmen im Gewicht aufhob. Wir bewahrten ihn durch lange Zeit auf, und versuchten ihn sodann an einem anderen Eisenstücke, welches er nicht erheben konnte. Wir dachten, daß das Gewicht dieses Eisenstückes 100 Drachmen überschreite, jenes Gewicht, welches der Magnet ehemals erhoben hatte; als wir es jedoch wogen, entdeckten wir, daß es weniger als 80 Drachmen wog. Die Kraft dieses Magneten hatte sich somit verringert, obzwar sein eigenes Gewicht das gleiche geblieben war wie früher.“

Neben den Handschriften mit dem Autornamen Dschâbir sind jene mittelalterlichen Werke lateinischen Textes berufen, uns

---

Berthelot: Collect. trad. p. 64; Olympiodor spricht von einem inneren Wesen des Bleies ibid. p. 100, und von den beiden entgegengesetzten Eigenschafetn des Bleies, p. 106. — [204] p. 191/92. — [205] p. 175.

Kunde über die Fortentwicklung des Stoffproblems auf alchemistischem Boden zu bringen, deren Charakter, deren Ausdrucksweise und Stil sie als wirkliche Übersetzungen arabischer Texte, trotz mannigfacher Umarbeitungen und Zusätze seitens der Kopisten, erkennen läßt. Dazu gehört in erster Linie das Werk, welches dem berühmtesten der arabischen Ärzte, IBN SINA (AVICENNA, 980—1036)[206], zugeschrieben wird: „De anima in arte alchimiae". Dieses Werk, eine Hauptquelle, aus welcher den christlichen Abendländern naturwissenschaftliche Erkenntnis zufließt, mag schon um seiner zahlreichen Ausdrücke arabischen Klanges willen als Übersetzung eines arabischen Textes betrachtet werden, welcher, wie in allen anderen Fällen, bei der Zerstörung der moslemischen Bibliotheken Spaniens ohne Zweifel der Vernichtung anheimfiel. Nebst einer Darlegung der aristotelischen Elementenlehre enthält dieses Werk die Lehre, daß ein jedes Metall aus dem Mercurius und dem Sulfur gebildet werde. Nach zweierlei Richtungen hin findet diese Lehre ihre empirische Begründung. Fürs erste vermag jedes Metall durch die Wärme verflüssigt zu werden, dergestalt, daß es das Aussehen des Mercurius gewinnt; fürs zweite erzeugt jedes Metall den „azenzar" (auch aceiçar, açur oder azur genannt), der die Farbe des Sulfurs besitzt. Mit dem Worte azenzar bezeichnet der Autor den Zinnober ebensowohl als das rote Quecksilberoxyd, das Kupferoxydul, die Mennige und das Eisenoxyd, desgleichen auch Schwefelantimon, mit einem Worte, alle metallischen Sulfide und Oxyde von roter Farbe. Das köstlich-hehre Wundergeheimnis der griechisch-alexandrinischen Alchemie war, wie erinnerlich, die Färbung des Merkurs der Philosophen durch ein gelbfärbendes Prinzip, das heißt durch Schwefel oder schwefelhaltige Stoffe, wie namentlich das Auripigment. Die dunklen Ideen der Alexandriner sind nunmehr auf dem Boden arabischer Alchemie zur Lehre von der Zusammensetzung der Metalle aus dem Mercurius und dem Sulfur organisch herangewachsen. Inwiefern der Mercurius als das eine „Prinzip", der eine Grund-

---

[206] WÜSTENFELD a. a. O. S. 64 Nr. 128, ferner siehe KOPP: Beiträge a. a. O. III 54 ff. namentlich Fußnote 69 und BERTHELOT: La chimie au moyen-âge I, 293.

bestandteil der Metalle, vom gemeinen Quecksilber sich unterscheidet, bedarf nach unseren früheren Betrachtungen über den „Merkur der Philosophen" keiner Erläuterung mehr. Spekulative Beweggründe, wie sie im Mercurius von den Daten experimenteller Erfahrung aus zu einem umfassenden Prinzip emporführen, sind auch für die Konstruktion des zweiten Prinzips, des Sulfurs, ausschlaggebend. Die Weiterentwicklung der arabischen Lehre von der Konstitution der Metalle im Verlaufe der Alchemie wird es unschwer erkennen lassen, daß die Sichtung des immer mehr sich vertiefenden Erfahrungsinhaltes die Unterordnung gewisser Erscheinungen unter ein metallisches und ein mehr flüchtiges Prinzip, den Mercurius, und ein zweites mehr konsistentes, jedoch brennbares Prinzip, den Sulfur, erheischt. So wird der Mercurius zum Träger des eigentlich metallischen Charakters der Stoffe, des Glanzes, der Dehnbarkeit und der Schmelzbarkeit, so ist der Sulfur, als das Brennbare, Ursache der Veränderung der Metalle im Feuer.

Die Lehre von der Zusammensetzung der Metalle aus dem Merkur und dem Sulfur, von welcher sich noch in den Schriften Dschâbirs keinerlei Andeutung findet, beherrscht den Ideenkreis der Alchemisten durch das ganze Mittelalter hindurch. Im Schoße der Erde entstehen die verschiedenen Metalle aus dem Merkur und dem Sulfur, je nach dem relativen Verhältnis beider, ihrer Reinheit und ihrer Farbe. Neben dem Werke mit dem Autornamen Avicenna enthält noch eine zweite Schrift eine klare Entwicklung der gleichen Lehre. Es ist die Schrift: „De Perfecto magisterio", mit dem Autornamen eines Pseudo-Aristoteles, ihrem Charakter nach die lateinische Übersetzung eines arabischen Originals, welche späterhin mit zahlreichen Zusätzen versehen wurde. „Das Gold", sagt Pseudo-Aristoteles, „wird von einem klaren Merkur in Verbindung mit einem roten und klaren Sulfur erzeugt und kocht lange Zeit unter der Erde bei linder Wärme."[207] Das Silber wird von einem klaren Merkur und von einem weißen, ein wenig roten Sulfur, der in ungenügender Menge vorhanden ist, erzeugt, das Kupfer von einem trüben und dichten Merkur und einem

[207] Berthelot a. a. O. I/277 ff.

trüben und roten Sulfur, und ähnlich wird die Entstehung des Eisens, des Zinns und des Bleis geschildert.

Neben der Lehre von der Zusammensetzung und der Erzeugung der Metalle aus dem Merkur und dem Sulfur sei schließlich nochmals ein flüchtiges Augenmerk der Theorie von den inneren, den okkulten Eigenschaften im Gegensatz zu den äußeren zugewendet. Von den dunklen Andeutungen in den griechischen Handschriften abgesehen, findet sich diese Theorie, wie erinnerlich, in den Dschâbir-Schriften klar entwickelt. Ihre Bedeutung liegt in der Verkettung mit dem Transmutationsproblem; denn im Sinne der Anschauung von den inneren und den äußeren Eigenschaften der Stoffe liegt die Grundformel aller Umwandlung darin, die inneren, die okkulten Eigenschaften in äußere und sichtbare Eigenschaften umzugestalten, oder nach Tunlichkeit den umgekehrten Weg einzuschlagen. Daher mögen noch zwei interessante Handschriften Erwähnung finden, welche diese Theorie entwickeln. Die eine, „Lumen luminum" betitelt, ist dem berühmten Arzt Rases (Abu Bekr el-Râzi)[208] als dem Autor des arabischen Originals zugeschrieben. Ein Ding[209], so heißt es darin, welches nach außen hin (in manifesto, in altitudine) warm, feucht und weich ist, ist innerlich (in occulto, in profunditate) kalt, trocken und hart, weil der äußere Anschein aller Dinge das Gegenteil des geheimen Inneren ist. Derart existiert in jedwedem Ding jedes andere der Möglichkeit nach, sei es auch in dem ersteren unsichtbar; doch ist es in den schmelzflüssigen Dingen wahrzunehmen. Die inneren Partien des Goldes sind silbern und jene des Silbers gülden. Gleicherweise ist im Kupfer, wenn auch unsichtbar, Gold und Silber der Möglichkeit nach vorhanden. Im Gold und Silber existieren Blei und Zinn der Anlage nach, und umgekehrt liegen im Blei und Zinn Gold und Silber insgeheim verschlossen. An die zweite Handschrift „Liber de Septuaginta" knüpft sich ein besonderes historisches Interesse, denn Dschâbir berichtet in seinen Schriften, daß er ein Werk gleichen Namens verfaßt habe[210] (durch Zusammenfassung von siebzig kleineren Abhandlungen, deren Dschâbir nach eigener Angabe fünfhundert

[208] Wüstenfeld a. a. O. S. 40 Nr. 98. Rases starb wahrscheinlich 932 zu Bagdad. — [209] Berthelot a. a. O. I 313. — [210] Berthelot a. a. O. III 134.

geschrieben habe, gebildet). Fehlt auch von diesem Werke DSCHÂBIR's bisher jede Spur, so scheint doch ein großer Teil desselben im „Liber de Septuaginta“ vorzuliegen; unstreitig jedoch stellt der lateinische Text eine Übersetzung aus dem Arabischen dar.[211] In allen Dingen, so lehrt diese Handschrift, sind zwei Naturen vorhanden, eine aktive und eine passive: die aktive in den sichtbaren Eigenschaften, die passive in den innerlich verborgenen. Das Blei ist nach außen hin kalt und weich, in seinen innerlichen Eigenheiten warm und hart. Das Quecksilber ist in seinen okkulten Eigenschaften Eisen, in seinen wahrnehmbaren Eigenschaften Quecksilber, und in ähnlicher Art wird auch die Doppelnatur des Zinns, des Kupfers, des Goldes und des Silbers etc. dargelegt.[212]

Zu den DSCHÂBIR-Schriften und den lateinischen Übersetzungen arabischer Autoren gesellen sich als bedeutsame historische Dokumente die enzyklopädischen Werke des VINZENZ VON BEAUVAIS (VINCENTIUS BELLOVACENSIS) und des ALBERTUS MAGNUS, die großen Denkmäler der Übermittlung arabischer Naturwissenschaft an das christliche Abendland. Sie berichten des eingehenden über die Theorie der Araber bezüglich der Konstitution und Entstehung der Metalle in analoger Weise wie die lateinischen Übersetzungen, deren arabische Originale bislang unbekannt sind. So verweist das Werk des VINZENZ VON BEAUVAIS (gest. 1256 oder 1264) in seinem bedeutendsten Teile, dem „Speculum naturale“, einer Darlegung positiver chemischer Kenntnisse der Metalle und Mineralien, in hervorragender Weise auf AVICENNA. Auch ALBERTUS MAGNUS (ALBERT VON BOLLSTÄDT, 1193—1280), eine der hervorragendsten Gestalten der Scholastik, der ruhmbedeckte Polyhistor, weicht, als echter Scholastiker dem Zuge seiner Zeit folgend, um keinen Fuß breit von den ihm gültigen Autoritäten ab: dem ARISTOTELES und den Arabern. In dem Werke „De mineralibus“[213], das seine chemischen und mineralogischen Kenntnisse vereint, stützt er sich in der Darlegung von der Zusammensetzung der Metalle aus dem Merkur und dem Sulfur des eingehenden auf AVICENNA. Er verbindet die Lehre der Araber mit der aristotelischen Elementen-

[211] BERTHELOT a. a. O. I, 320 ff. — [212] a. a. O. p. 332, 33. — [213] Vergleiche zum folgenden KOPP: Beiträge a. a. O. III/69 ff.

lehre in der Art, daß er den beiden Metallkomponenten des weiteren noch die vier aristotelischen Elemente zugrunde legt, so daß an der Zusammensetzung des Sulfurs alle vier Elemente teilnehmen, während der Merkur vorzugsweise aus Wasser und Erde gebildet ist.

ROGER BACON (zwischen 1214—1294), einer der erleuchtetsten und vorgeschrittensten Geister seines Jahrhunderts, lehrt desgleichen in seiner Schrift „Speculum alchimiae" unter Berufung auf AVICENNA die Zusammensetzung der Metalle aus dem Merkur und dem Sulfur. Auch ARNALDUS VILLANOVANUS (zwischen 1235 und 1314) trägt in seiner Schrift: „Rosarium philosophorum" die gleiche Lehre vor, und ebenso findet sie sich in dem „Testamentum" wieder, einer alchemistischen Schrift, welche den Autornamen des RAYMUNDUS LULLUS (zwischen 1235—1315) trägt. Schließlich mag der ausdrückliche Hinweis nicht unterlassen werden, daß diese großen alchemistischen Autoritäten des 13. Jahrhunderts insgesamt die Lehre der Araber mit der aristotelischen Elementenlehre verknüpfen, indem sie die weitere Zusammensetzung des Merkurs und des Sulfurs aus den Elementen darlegen. Die Autorität des Stagiriten in Dingen der Natur ist bereits unumstößlich geworden. Mit der Lehre von der Zusammensetzung der Metalle wird auch jene von den äußeren und inneren Eigenschaften und ihrem Gegensatze den christlichen Alchemisten übermittelt. So nennt VINZENZ VON BEAUVAIS[214] Wärme, Trockenheit und Härte als die äußeren Eigenschaften des Eisens, und die entgegengesetzten, wie die Weichheit, als die inneren, die okkulten Eigenschaften. Und was nach außen hin Kupfer ist, ist im Inneren Gold, gleich der Seele des Metalles.

Eine besondere Stellung sei im Gange unserer Betrachtungen jenen Schriften lateinischen Textes zugewiesen, welche den Autornamen GEBER (die Latinisierung von DSCHÂBIR[215], eine angebliche ruhmreiche Autorität der arabischen Alchemie), führen. Denn ein hervorragendes Interesse knüpft sich an die endgültige Aufhellung über die Autorschaft und die Zeit dieser einst so hochverehrten Schriften, wie wir diese Aufhellung der historischen Forschung BERTHELOTS[216] verdanken. Das geläuterte geschichtliche

[214] BERTHELOT a. a. O. I/284. — [215] Siehe S. 107. — [216] a. a. O. I/336 ff.

Urteil über die lateinischen Geber-Schriften entspringt vor allem dem näheren Studium der arabischen Dschâbir-Texte. Welch diametraler Unterschied zwischen dem vagen Symbolismus, den überschwenglichen, deklamatorischen Auslassungen der arabischen Schriften und dem im Wesen rationalistischen Charakter der lateinischen Geber-Texte, denen mannigfach die Erhebung zu wahrer Wissenschaftlichkeit nicht abzusprechen ist! Keinerlei Vorschrift zur Darstellung der Metalle, der Salze oder anderer Stoffe, wie sie die lateinischen Schriften auszeichnen, ist in den arabischen Handschriften gleichen Autornamens dargeboten; desgleichen fehlt, wie schon bemerkt, jede Andeutung über die Lehre von der Konstitution der Metalle aus dem Merkur und dem Sulfur, wie sie der lateinische Geber des eingehenden darlegt. Überdies sind die lateinischen Werke Geber's, unter denen namentlich die „Summa perfectionis" vom 13. Jahrhundert ab ihrer methodischen Klarheit wegen universelle Verbreitung und klassische Autorität in der gesamten alchemistischen Welt gewinnt, sowohl dem Albertus Magnus als auch dem Vinzenz von Beauvais noch völlig unbekannt. Schließlich enthalten die arabischen Dschâbir-Texte noch keinerlei Spur von jenen Anfechtungen der Realisierbarkeit alchemistischer Ideale[217], deren eingehende Erörterung für und wider nach allen Regeln scholastischer Dialektik in der „Summa perfectionis", dem Hauptwerke Geber's, vollzogen wird. „Die wahrscheinlichste Hypothese", so lautet das Urteil Berthelot's, „ist in meinen Augen, daß ein lateinischer Autor, der unbekannt geblieben ist, dieses Buch (die „Summa") in der zweiten Hälfte des 13. Jahrhunderts verfaßt und es unter die Patronanz des verehrten Namens Geber gestellt hat." Die übrigen Schriften des lateinischen Geber: „De investigatione perfectionis", „De inventione veritatis", „Liber fornacum", sowie das „Testamentum Geberi" und die „Alchimia Geberi", sind unstreitig erst im Laufe des 14. Jahrhunderts entstanden, denn sie fügen an die chemischen Errungenschaften der „Summa" Zusätze, deren Kenntnis den Autoren des 13. Jahrhunderts noch mangelt. So beschreibt beispielsweise die „Alchimia Geberi" Operationen zur Darstellung

---

[217] Siehe S. 83 ff.

von Salpetersäure, Königswasser und Silbernitrat, von denen die „Summa" noch keinerlei Erwähnung tut.

In dem Hauptwerke, der „Summa perfectionis"[218], entwickelt Pseudo-GEBER seine Lehre von der Zusammensetzung der Metalle nach einer Übersicht der Lehren älterer und neuerer Alchemisten über den gleichen Gegenstand. Sulfur, Arsenicum und Argentum vivum (Quecksilber), auch Mercurius genannt, seien in Wahrheit die drei Prinzipien der Metalle, wobei jedoch das Arsenicum gegen den Sulfur in den Hintergrund tritt und stets als etwas im Wesen dem Sulfur Gleichartiges behandelt erscheint. Die Qualität des Mercurius und des Sulfurs, sowie ihre quantitativen Mengenverhältnisse bedingen den Charakter des Metalles. So ist das Gold aus dem feinsten Quecksilber und wenig reinem Schwefel von roter Farbe erschaffen, das Silber aus reinerem Quecksilber und reinem Schwefel von weißer Farbe und so fort. Jene Metalle besitzen die größte Vollkommenheit, welche den größten Gehalt an Quecksilber in sich schließen, der Schwefel dagegen tut der Vollkommenheit der Metalle Abbruch.

Von bedeutsamem Interesse scheint es uns, an dieser Stelle wiederum festzuhalten, inwiefern die Lehre von der Zusammensetzung der Metalle aus dem Merkur und dem Sulfur, wie sie die Alchemie des Mittelalters beherrscht, völlig vom Geiste der aristotelischen Elementenlehre durchweht erscheint. Denn von den Prinzipien sowohl älterer als auch neuerer Alchemisten, erklärt der Autor der „Summa" ganz im allgemeinen, daß sie von sehr fester Zusammensetzung seien und aus gleichartiger Substanz bestünden, da in ihnen Teile der Erde mit Teilen der Luft, des Wassers und des Feuers auf das innigste durch Berührung der kleinsten Teile (per minima) verbunden seien, derart, daß sie einander bei der Auflösung nicht loslassen könnten.[219] Unter dem Gesichtswinkel der überlieferten aristotelischen Naturauffassung werden die vier Elemente zu den möglichen, den potentiellen Bestandteilen des Merkurs und des Sulfurs, und diese beiden Prinzipien sind des weiteren die Materie für die eigent-

[218] Enthalten in: Artis chemicae principes, AVICENNA atque GEBER p. 497 bis 708, erschienen zu Basel 1572. Pseudo-GEBER's Ansichten über die Konstitution der Metalle p. 540, ferner p. 625 ff. — [219] a. a. O. p. 537 ff.

lichen Metalle. Auch die umfassende und mehr symbolische Natur der beiden Prinzipien weist ja auf den innigen Zusammenhang mit der aristotelischen Stofflehre hin. In dem Maße, als sich die Fülle experimenteller Beobachtung vertieft und die Aufstellung umfassender Prinzipien erheischt, dürfte wohl die Bildung dieser Prinzipien einerseits von den Vorstellungen, wie sie der praktischen Erfahrung entwuchsen, andererseits von dem Streben beherrscht gewesen sein, in den Umfang dieser Prinzipien die Elementenlehre des Stagiriten einzubeziehen, dessen Geist mit der ehernen Wucht kirchlich dekretierter Autorität auf dem Denken des Mittelalters lastete. So entwickeln sich aus den Vorstellungen von Stoffen, welche die Praxis des Laboratoriums kennen lehrte, die viel umfassenderen Begriffe des Merkurs und des Sulfurs; sie bewegen sich so vollends auf dem Boden der qualitativen Elementenlehre, daß in den beiden Prinzipien nicht etwa neue Elemente vorliegen, sondern ausschließlich nur eigenartige Verbindungen der vier aristotelischen Elemente von äußerst fester Zusammensetzung.

Unter allen Daten experimenteller Beobachtung sind es die Erscheinungen, welche die Verbrennung von Naturkörpern begleiten, die am hervorstechendsten auf die Bildung der alchemistischen Grundbegriffe Einfluß nehmen. Der Hinweis auf den Gehalt an Schwefel als der Ursache der Veränderlichkeit von Stoffen, namentlich von Metallen, durch das Feuer findet sich in den GEBER-Schriften wiederholt vor. Zugleich ist der Gehalt an Schwefel, wie vorhin erwähnt, im Gegensatz zu jenem an Quecksilber, die Bedingung für die Unvollkommenheit des betreffenden Metalles. Das Gold, das vollkommenste aller Metalle, besitzt den geringsten Gehalt an Schwefel, es verbrennt daher bei der Einwirkung des Feuers am wenigsten. Neben dem Gehalt an Schwefel beeinflußt eines der aristotelischen Elemente, das Wasser, die Deutung der Verbrennungserscheinungen. Denn die Kalzination (Oxydation)[220] einer Substanz ist das Pulvern derselben durch Feuer, durch Beraubung der die Teile zusammenhaltenden Feuchtigkeit; die Grundlage dieser Operation ist die

---

[220] a. a. O. p. 592.

Zerstörung des verunreinigenden Schwefligen durch das Feuer. Die Verbrennung wird somit im Wesen als Ausscheidung des einen Prinzips betrachtet. So sprießen bereits auf der Höhe alchemistischer Experimentierkunst die ersten Keime zu jener Lehre auf, welche in Gestalt der Phlogistonlehre[221], drei Jahrhunderte später, üppig in die Halme schießen sollte. Diese Lehre, der Angelpunkt der Chemie des 17. und 18. Jahrhunderts, hatte den Sulfur durch den nunmehr gänzlich hypothetischen Feuerstoff, den Phlogiston, ersetzt, welchem zwar jedes Merkmal sinnlicher Erfahrung abging, dessen Voraussetzung jedoch vortrefflich geeignet schien, eine große Anzahl von Erscheinungen unter einem umfassenden Gesichtskreise zu deuten.

[221] Siehe das Kapitel, enthaltend: Die Phlogistontheorie und ihr Schicksal etc.



Die Lehre von den drei Prinzipien: Mercurius, Sulfur und Sal. Die Anfänge korpuskular-mechanischer Auffassung chemischen Geschehens.

Der Lehre von der Zusammensetzung der Metalle aus den zwei Prinzipien: Mercurius und Sulfur, deren Wurzel in die griechisch-alexandrinische Alchemie zurückreicht, deren Bildner die Araber sind, ist in der lateinischen Alchemie eine neue Etappe beschieden. Zu den beiden alten Prinzipien tritt im Laufe der Zeiten ein neues hinzu, das „Sal“. Die Schriften, welche den Autornamen des Basilius Valentinus tragen, nennen Mercurius, Sulfur und Sal (Salz) als die drei Grundbestandteile der Metalle. Der Ursprung dieser Schriften wurde lange hindurch in das 15. Jahrhundert verlegt, bis die eingehende Forschung sie als absichtliche, literarische Täuschung aus dem Ende des 16. oder dem Anfang des 17. Jahrhunderts kennzeichnete.[222] Als Vermächtnis eines übergroßen Weisen und Goldkünstlers verflossener Zeiten fanden sie weite Verbreitung unter den Alchemisten ihrer Tage und genossen hohe Bewunderung in Hinsicht auf die Angaben des Verfassers über die Ausarbeitung und die metallveredelnde Wirkung des Steines der Weisen. Den chronologischen Gang unserer Betrachtungen durch die Nennung der Schriften des Pseudo-Basilius Valentinus zu unterbrechen, hat seinen triftigen Grund. Denn in die erste Hälfte des 16. Jahrhunderts fällt das Wirken Paracelsus', des bahnbrechenden Genies, das sich den scholastischen Geistesfesseln zu entwinden vermag und nun mit dem Ungestüm des Reformators, unter Verachtung aller autoritären Überlieferungen, einer neuen Morgenröte empirischer For-

---

[222] Zur Basilius-Frage siehe Kopp, Beiträge a. a. O. III/110 ff. und Die Alchemie in älterer und neuerer Zeit I/29 ff.

schung entgegenstrebt. Die BASILIUS-Schriften dagegen atmen noch gänzlich den konservativen Geist der traditionellen, scholastischen Bildung mit deren Verehrung der aristotelischen Autorität, wodurch ihre unzeitgemäße Erwähnung gerechtfertigt erscheint. Zahlreiche Stellen dieser Schriften[223] weisen auf den inneren Zusammenhang der drei ersten Prinzipien mit den aristotelischen Elementen hin. Die erste Materie aller Dinge der Welt ist das Wasser, „welches durch Austrucknung des Feuers und Lufft zur Erden worden“.[224] Die „Elementa / als Wasser / Lufft und Erden / würcken durch das Aethnische Feuer vor und vor / biß sie ein Vollkommenes zuwege bringen / welches HERMES[225] und alle vor mir / weil wir anders nichts mehr finden können / anfangs der Meisterschafft her / die drey ersten Dinge genannt haben / und ist befunden worden eine innerliche Seele / ein unbegreifflicher Geist / und eine leibliche sichtbare Anschauung. Wann nun diese drey bey einander wohnen / gehen sie durch die Copulation mit der Zeit per Vulcanum in ein greiffliches Wesen / als in ein Quecksilber / in einen Schwefel / und in ein Saltz / diese drey / wenn die durch eine Vereinigung in ihre Erhartung und Coagulation gebracht / wie die Natur mannigfaltig würcket / so wird daraus ein vollkommener Leib“. . . .[226] Gleich wie der Bergmann des suchenden Erzes durch die Berge nicht sehen kann, was er für Reichtum der Metallen zu gewarten, sondern er das Gebirge zuvor eröffnen und entblößen und dann, was er darinnen findet, vollständig durch das Feuer probieren muß, also muß es auch in allen anderen Sachen geschehen, „wer ein Natur-Kündiger will mit rechtem Titul seyn“.[227] Durch jedes Dinges Zerlegung, Separation und Anatomia, welche nun durch die Destillation offen-

---

[223] FR. BASILII VALENTINI, Ordin. Benedict. Chymische Schrifften anjetzo zum Vierdten mahl zusammen gedrucket etc. Hamburg 1717. — [224] Triumph-Wagen des Antimonii, I 445. — [225] Der mythische und göttliche Ahnherr der Alchemie. — [226] Vom großen Stein der uhr-alten Weisen I,10. Die Darstellung über die Entstehung der Dinge schwankt an verschiedenen Stellen der Schriften. Siehe: Von dem Universal dieser ganzen Welt II,711, ferner Triumph-Wagen des Antimonii, I 347 und De Microcosmo I 115. Die Entstehung der vier Elemente im Schöpfungsakt sei übergangen. — [227] Von der großen Heimlichkeit der Welt und ihrer Arztney I/133 ff.

bar und bekannt gemacht wird, da werden geschieden die Elementa, jedes besonders, da wird ergründet, was kalt und feucht, warm und trocken ist, da werden die drei „anfahenden Dinge“ erforscht. „In solcher Scheidung und Offenbarung nun wird allererst kundbar / was die drey Principia sind / davon viel Geschwätzes vorläufft / nemlich ein Mercurius / ein Schwefel und ein Saltz ....“ Mercurium, Sulfur und Sal sind „miscirt in einer ungleichen Abtheilung des Gewichts: daß also etliche Metallen dadurch fix werden / etliche aber unfix / das ist / etliche beständig / etliche aber flüchtig und unbeständig: als da sind Gold / Silber / Kupffer / Eisen / Zinn / Bley“.[228] Die drei ersten Prinzipien sind von den gewöhnlichen Stoffen durchaus verschieden, denn: „Hie muß ich aber das melden / das die gemeinen Laboranten meynen wann man von ☿[229] Corporum redet / es sey das ☿ Metallum praeparirt / oder von den Salibus Corporum / es sey Saltz wie unser gemein Saltz / es muß ihm allenthalben gleich seyn / also auch die Ruß und Aschen; da doch ein weiter Unterschied ist / denn Holtz- oder Stein-Aschen ist viel ein ander Ding / denn der Metallen Aschen und Ruß / an Farbe und Gestalt / und vielmehr an der Krafft und Macht. Derohalben muß man in solchen auff die Krafft und auff das Werck sehen / daher entstehet ihm dann der Name.“[230] Eine nähere Bezeichnung jener Eigenschaften, als deren Träger ein jedes der drei Prinzipien gedacht wird, fehlt in den Schriften. Der Mercurius wird auch als der Spiritus vitalis oder der lebendige Geist bezeichnet[231], welcher im Menschen beweglich ist und alle Gliedmaßen durchwandert; der Sulfur ist feister und gröberer Natur, seine näheren Eigenschaften sind nicht klargestellt; „die Erhärtung aller Dinge würcket das bloße Saltz allein“.[232] Wohl noch am bezeichnendsten für das Wesen der drei Prinzipien ist die folgende Stelle: „... wenn man die Erde / die metallische Erde meyne ich / arbeitet / wie sie die Natur in der Arbeit für hat / so fleucht der Ruß oben / die Farbe bleibt mitten / und die Aschen unten / und ein jegliches

---

[228] Triumph-Wagen des Antimonii, I/347. — [229] Das alchemistische Zeichen für Mercur. Siehe Kopp, Beiträge a. a. O. II/504. — [230] Von dem Ruß und Aschen II/552. — [231] De Microcosmo I/108. — [232] Vom großen Stein der uhralten Weisen, I/14.

sonderlich darinne. Denn hat nicht die Aschen die Sales? haben nicht die Farben die Sulphura? hat nicht der Ruß den Mercurium? denn wie derselbige oben hinaus will / thut der Ruß auch."[233] Unserer baldigen Betrachtung der paracelsischen Stofflehre werden wir entnehmen, wie der viel originellere Denker Paracelsus die drei ersten Prinzipien: Mercurius, Sulfur und Sal mit aller Schärfe ihren Wesenheiten nach charakterisiert und ihrer Ableitung die aristotelischen Elemente nicht unbedingt zugrunde legt. Da nun die Schriften des Pseudo-Basilius jüngeren Datums sind als jene des Paracelsus, so sind die ersteren zweifelsohne der Feder eines Mannes entflossen, welcher der traditionellen Gelehrtenbildung seiner Zeit näher stehend, in der Bahn einer Vermittlung zwischen dem paracelsischen Reformwerke und dem absterbenden scholastisch-aristotelischen Geiste sich bewegt. Trotz dieses einigermaßen konservativen Charakters sind die Basilius-Schriften von einem erfreulichen Zuge kräftiger Empirie getragen. Als bemerkenswertes Beispiel hierfür sei jene Stelle wiedergegeben, welche die Scheidung der vier Elemente durch die Destillation lehrt: „Und daß ich dir dieses mit einer richtigen Probe darthue / damit du Unwissender nicht sagen mögest / mein Thun und Vorgeben sey lauter einfältiges Geschwätz / und keine Wahrheit / so sage ich dir / dem so der Natur Zerlegung zu wissen verstehen will / und der Elementen Scheidung zu erlernen ihm vorgesetzet / also / daß in der Destillation der Erden gehet erstlich das Element Lufft / dann es am leichtesten / nach dem / in gewisser Fortfahrung / gehet das Element Wasser / das Feuer stecket in der Lufft / dann sie sind beyde geistliches Wesens / und lieben sich wunderbarlich / die Erde bleibet am Boden / darinnen ist das Saltz der Herrlichkeit. In der Destillation des Wassers gehet Lufft und Feuer auch am ersten / Wasser hernach / und das Corpus der Erden bleibet in fundo."[234] Wenn auch das Beiwerk alchemistischer Phantastik so manche Stellen der Schriften, wie die verschiedenen Darstellungen von der Entstehung der Dinge überwuchert und auch die Auffassung des Mercurius in eine Richtung zwängt, welche jener von der neuplatonisch gefärbten, mer-

[233] Von dem Ruß und Aschen II/552. — [234] Vom großen Stein der uhralten Weisen I/47.

kurialischen Seele der griechisch-alexandrinischen Alchemie[235] fast parallel läuft, so bricht trotz allem die warme Vorliebe für reale Naturbeobachtung, frei von allen Nebeln scholastischer Dialektik, oft in prächtigen Worten voll urwüchsiger Kraft durch, wovon zum Schlusse die folgende Stelle Zeugnis geben mag: „. . . . sonst achte ich keinen Schwätzer / der nicht aus Erfahrenheit redet / dann seine Reden sind dahin gegründet / wie der Blinde von der Farbe disputiret; Lerne aber mein Disputator / und suche zuvor den Grund mit Augen und Händen / so die Natur verborgen mit sich bracht / so kanst du weißlich reden mit Vernunfft und Verstand und auff unüberwindliche Felsen bauen. Ohne das aber wirst du bleiben ein vergeblicher phantasirender Schwätzer / dessen Rede ohne Experientz auff Sand gesetzt / welche von den Winden leichtlich können beweget / und letzlich gar umgestoßen werden."[236]

Und nun zu PARACELSUS selbst (1493—1541)! Der „seltsam wunderliche Mann" steht an der Pforte zu einer neuen Epoche der mittelalterlichen Chemie, die sich ihr in der Anwendung auf die Heilkunde erschließt: die Epoche der medizinischen oder der angewandten Chemie, der Jatrochemie. Doch diese entscheidende Wendung, welche die Chemie über das Niveau einer Goldmacherkunst dauernd hinaus erhebt, ist nur ein miniaturenhaftes Abbild jener gewaltigen Bewegungen, welche das gesamte Geistesleben des Abendlandes in Aufruhr bringen. Es darf an dieser Stelle nicht unterlassen werden, mit einigen Strichen das Werden sowie die geistigen Strömungen jener Zeit zu skizzieren, in welcher das Lebenswerk des THEOPHRASTUS PARACELSUS erstand. In Italien stürmte der Humanismus gegen die Zwingburg der Scholastik, dem deutschen Geiste war ein LUTHER erstanden, im Jahre 1543 erschien das Buch von den Bahnen der Himmelskörper, das NIKOLAUS COPERNICUS zum Verfasser hat. Viel früher waren die ersten Vorboten des Heraufdämmerns einer reinen, erfahrungsmäßigen Naturwissenschaft laut geworden. Im 13. Jahrhundert hatte ROGER BACON[237] die verwegensten Angriffe gegen die Herrschaft unbegründeter Autoritäten, als der hemmenden

[235] Siehe S. 104. — [236] Von der großen Heimlichkeit der Welt und ihrer Artzney. I, 123. — [237] Über ROGER BACON siehe KOPP. Beiträge a. a. O. III/86 ff.

Fessel jeglicher Entwicklung des Wissens gerichtet, dem Wissen, das im Schatten der starren Autorität erwächst oder durch reine Spekulation genährt ist, mit vollem Nachdrucke das Wissen auf Grund experimentellen Forschens zur Seite gestellt. Harte Verfolgung und Widerruf waren das Los des kühnen Mannes gewesen. Auch dem folgenden Jahrhundert, da einzelne Universitäten mittelalterlichen Glanzes Schauplätze mühsamen Ringens nach Denkfreiheit sind, fehlt es nicht an tiefgehenden Versuchen zur Emanzipation von der aristotelischen Naturauffassung.[238] Diese Versuche finden ihren Nährboden in dem „Nominalismus", jener Richtung innerhalb der Scholastik, welche im Gegensatz zum „Realismus" die aus der platonischen und aristotelischen Philosophie stammende Ansicht, daß die allgemeinen Begriffe reale Existenz besitzen, verwirft und sie bloß als gemeinsame Namen für gleichartige Individuen auffaßt. War so die Wirklichkeit der Natur aus den allgemeinen Begriffen in die Dinge selbst hinein verlegt, dann war nur ein Schritt zu der Erkenntnis, daß diese Wirklichkeit durch die tatsächliche Beobachtung der einzelnen Dinge und ihrer Wechselwirkung aufeinander zu erfassen sei. Es war somit der Same zu jenem empirischen Naturerkennen späterer Zeiten ausgestreut, das sich von künstlich geformten Begriffen und geheimen Qualitäten hinweg zu den Dingen selbst wandte. So rückt Wilhelm von Occam († 1347), der hervorragende Neubegründer jener nominalistischen Richtung, deren Wurzeln in das 11. Jahrhundert zurückreichen, die Erfahrung und die Erkenntnis von Einzeldingen durch Anschauung in den Vordergrund. Ein Jahr nach Occam's Tode wird Nikolaus de Autricuria von der Universität zu Paris gezwungen, sechzig Lehrsätze zu widerrufen, deren einer den verwegenen Vorschlag enthält, sowohl den Aristoteles als auch seinen großen Kommentator unter den Arabern, Averroes, den eifrigen Sammler arabisch-aristotelischer Philosophie, völlig beiseite zu setzen und sich direkt an die Dinge zu wenden, womit die bisherige Unsicherheit in der Erkenntnis der Natur behoben werden könnte. Und noch kühner betrifft eine andere These schlankweg die Be-

[238] Vergleiche zum folgenden: Windelband: Geschichte der neueren Philosophie I 28 ff. und Lange: Geschichte des Materialismus S. 159 ff.

hauptung, daß es in den Naturvorgängen nichts gebe, als die Bewegung der Verbindung und Trennung der Atome. Alle Teile des Universums, sowie das ganze, sind ewig und unzerstörbar[239], denn jedem einzelnen Dinge kommt ein Entstehen nur in dem Sinne zu, daß die Atome zusammentreten und dadurch die Natur eines Dinges bestimmen, und ein Vergehen, indem die Atome wieder auseinandergehen. So tritt mitten in der Nacht der Scholastik und der Herrschaft aristotelischer Naturlehre ein Vorläufer unserer heutigen atomistisch-mechanischen Naturauffassung hervor, der seine atomistischen Grundsätze mit der klaren Erkenntnis des Satzes von der Erhaltung des Stoffes verbindet. Sicherlich waren derartige ketzerische Ansichten auch in anderen selbständigen Köpfen dieser Zeit rege. Aber noch drei Jahrhunderte mußten verrauschen, ehe es Gassendi[240] ungestraft wagen durfte, mit der Erneuerung des Epikureismus zugleich die antike Atomistik dem europäischen Denken wieder nahe zu bringen. Den Weg, welchen der menschliche Geist dahin unter schweren Kämpfen zurücklegen mußte, wollen wir noch kurz an zwei seiner vielen Merksteine deutlicher illustrieren. Der eine sind die Werke des Nikolaus Cusanus (1401—1464), des Kardinals und Bischofs von Brixen, die in bemerkenswerter Weise der Naturforschung, wie sie viel später im Lichte der siegreichen, quantitativen Elementenlehre erglänzt, vorgreifen. Ohne auf das philosophische System des Cusanus näher einzugehen, sei nur erwähnt, daß er von rein erkenntnistheoretischen Gesichtspunkten aus, das heißt aus der logischen Entwicklung seines Erkennens der Welt heraus, zum Begriffe einer endlichen Größe (Quantität) gelangt, welche ihrer Kleinheit wegen in Wirklichkeit nicht mehr teilbar ist. Er nennt dieses aktuell Unteilbare Atom. Ein hohes Interesse erregt jedoch jener weite Kreis von Vorschlägen zu Experimenten, in dessen Mittelpunkt die Anwendung der Wage steht. So bezeichnet Cusanus[241] das spezifische Gewicht als das beste Mittel zur Vergleichung verschiedener Körper, er macht Vorschläge, wie das Gewicht der Luft zu bestimmen sei, er empfiehlt Zeitmessungen durch Wägung jener Wassermenge aus-

[239] Lasswitz a. a. O. I/257. — [240] Siehe das folgende Kapitel. — [241] Lasswitz a. a. O. I/279.

zuführen, welche in einem Zeitabschnitt einer Wasseruhr entflossen ist und so fort. Schließlich findet sich der Vorschlag zu jenem Experiment, welches van Helmont[242] zwei Jahrhunderte später zur Ausführung bringt: es gilt vorerst, den Samen der Pflanze und jenes Erdreich zu wägen, in welchem sie aufblühen soll; nach erreichter Blüte solle das Gewicht der Pflanze festgestellt und auch das Erdreich neuerdings gewogen werden, woraus der Schluß auf die Menge an Nahrung zu ziehen wäre, welche die Pflanze dem Erdreich entnommen hat. Cusanus vermutet, daß das Gewicht der Erde nur um ein geringes abgenommen haben werde, da die Pflanze ihre Nahrung zum Hauptteile aus dem Wasser beziehe. So sehen wir Cusanus von dem Bestreben erfüllt, mit Hülfe der Wage ein exaktes, objektives Maß für das Naturgeschehen zu finden.

Nur über den völligen Bruch mit der aristotelischen Tradition hinaus hatte sich Cusanus zu dieser erstaunlichen Höhe der Naturanschauung erheben können. Eigenes Forschen und Lesen in dem großen Buche der Natur, das Gott selbst geschrieben und uns aufgeschlagen hat, gilt ihm höher als aller scholastischer Bücherkram. Desgleichen ist auch der zweite Kämpe wider die Scholastik, der Spanier Ludwig Vives (1494—1540), der namentlich durch sein Werk über Psychologie berühmt wurde, in Bezug auf Aristoteles der Meinung, daß die echten Schüler seines Geistes über ihn hinausgingen und die Natur selbst befragten. Durch direkte Untersuchung auf dem Wege des Experimentes, und nicht aus der blinden Tradition oder aus spitzfindigen Hypothesen sei die Natur zu erkennen.[243]

In diese Zeit voll stürmischer Gärungen fällt das Wirken des Theophrastus Paracelsus. Von seinen Schülern verhimmelt, von seinen Gegnern und von späteren Geschichtsschreibern in den Kot gezerrt, blieb es der eingehenden Forschung[244] unserer Tage vorbehalten, die häßlichen Züge aus

[242] Siehe weiter oben. — [243] Lange a. a. O. S. 169.

[244] Die neuere Paracelsus-Forschung knüpft sich in hervorragender Weise an die Namen Friedrich Mook und Carl Sudhoff. Eine groß angelegte Biographie Paracelsus' siehe: Franz Strunz: Theophrastus Paracelsus, sein Leben und seine Persönlichkeit. 1903. Siehe auch von demselben Autor: Theophrastus Paracelsus, ein Gelehrtenleben des 16. Jahrhunderts. Chemiker-Zeitung 1903, S. 1103.

dem Lebensbilde dieses Mannes auszumerzen. PARACELSUS, dem „überidealistischen" Utopisten voll hoher christlich-humanistischer Frömmigkeit und Glaubenszuversicht an der Verwirklichung einer sittlichen Menschheitsgemeinschaft, dem Arzte, dem der „höchste Grund der Arznei die Liebe ist", ihm gilt die Erforschung der Gesetze des Weltalls als das Edelste, was der Mensch auf Erden leisten und genießen kann. Dem großzügigen Renaissancemenschen, überschäumend von urkräftigem Selbstbewußtsein, gilt ARISTOTELES nur als Schwamm, der an der Philosophie gewachsen ist, „gleich wie die Drüsen am Leib".[245] Weg mit all dem Bücherwust, denn wer ist billiger ein Lehrmeister denn die Natur selbst? „Dann das will ich bezeugen mit der Natur. Der sie durchforschen will / der muß mit den Füßen jhre Bücher tretten. Die Geschrifft wird erforschet durch ihre Buchstaben / die Natur aber durch Land zu Land / als offt ein Land als offt ein Blat. Also ist Codex Naturae / also muß man jhre Bletter vmbkehren."[246]

„Drey sind der Substantz"[247], so lehrt PARACELSUS, „die da einem jedlichen sein Corpus geben: Das ist / ein jedlich Corpus steht in dreyen Dingen. Die Namen dieser dreyen Dingen sind also / Sulphur / Mercurius / Sal. Diese drey werden zusammengesetzt / als dann heists ein Corpus / und ihnen wird nichts hinzu gethan / als allein das Leben / und sein anhangendes. Also so du ein Corpus in die hand nimmst / so hast du unsichtbar drey Substanzen / unter einer Gestalt: Von diesen dreyen ist not zu reden . . . . Dann so du ein Holtz in der Hand hast / so hast du vor deinen augen nur einen leib: Das Wissen ist dir nit nütz / die Bauern wissends und sehends auch. So weit mußt du gründen und erfahren / daß du wissest / daß du in der hand ein Sulphur habest / ein Mercurium / und ein Sal. . . . . Nun die ding zu erfahren / so nehmt ein anfang vom holtz: Dasselbig ist ein Leib / nun lass brennen / so ist / das da brennt / der Sulphur / das da raucht / der Mercurius / das zu Aschen

[245] Das Buch Paragranum, herausgeg. von F. STRUNZ S. 24.

[246] In seiner Verteidigungsschrift: Von wegen meines Landfahrens, gegen den gehässigen Vorwurf des Landstreicherlebens seitens seiner Gegner. STRUNZ a. a. O. S. 40. — [247] Opus Paramirum, herausgeg. von STRUNZ S. 89 ff.



THEOPHRASTUS PARACELSUS.

Das Original ist ein Oelgemälde (Brustbild) in Lebensgröße und befindet sich zur Zeit in der Königlichen Galerie zu Schleißheim bei München. Künstler und Entstehungszeit sind unbekannt. Der Sockel ist mit Wappenschild [illegible] ([illegible] Schrägbalken im goldenen Felde mit drei weißen Kugeln), sowie mit der lateinischen Inschrift geschmückt. Letztere besagt im Wortlaute:

D. THEOPHRASTUS. PARACELSUS. Philosophus. Medicus. Mathemat. Chimista: Cabalista Natura. Industrius. Indagator.

(Die gleiche Reproduktion [illegible] das Titelbild zu dem im [illegible] Verlage in Jena erschienenen PARACELSUS-Buche von STRUNZ. Siehe S. 127.

[illegible] 244

wird / Sal. . . . . Das da so brennt / ist der Sulphur / nichts brennt / allein der Sulphur: Das da raucht / ist der Mercurius / nichts sublimiert sich / allein es sey denn Mercurius: Das da in Eschen[248] wird / ist Sal / nichts wird zu Eschen / allein es sey denn Sal. . . . Die Scheidung aber beweist die Substantzen." „Denn fürwahr brennt ein Ding / so hat es den Sulphur in sich: gibt es Aschen / so hat es Saltz in sich: gibt es ein Rauch / so hat es den Mercurium in sich."[249]

Die Scheidung, die chemische Analyse beweist, daß allen Dingen drei Grundbestandteile, drei Prinzipien zugrunde liegen: Merkur, Sulfur und Sal. Von den drei Stoffen des gleichen Namens verschieden, erscheinen sie wiederum als Repräsentanten der auffälligsten Seiten chemisch-physikalischen Verhaltens der Stoffe: der Verflüchtigung, der Verbrennung und der Feuerbeständigkeit. Der Rauch, sagt PARACELSUS, beweist den Mercurium, „der sich durch das Feur auffhebt und sublimirt."[250] „Also was da brennt / und den augen Feurig erscheint / dasselbig ist der Sulphur / der verzehrt sich / dann er ist Volatile."[251] „Nun ist aber die Congelation[252] des Corpus auß dem Saltz: Das ist / ohn das Saltz wäre nichts greifflichs da: Denn auß dem Saltz kommt dem Diamant sein härty / dem Eisen sein härti / dem Bley sein weichi / dem Alabaster sein weichi / und dergleichen. Alle Congelation / Coagulation ist auß dem Saltz."[253] In der Stofflehre des PARACELSUS liegt ersichtlich eine grundlegende Wendung im Gegensatz zu jener der BASILIUS-Schriften mit ihrem stufenweisen Vorschreiten von den aristotelischen Elementen zu den drei „ersten Prinzipien", und von diesen endlich zum Mercurius, Sulfur und Sal.[254] Wir erblicken in dieser Wendung den Keim zu einem

[248] = Asche. — [249] a. a. O. S. 180. — [250] a. a. O. S. 91. — [251] Flüchtig, verdämmend, leicht. — [252] Erstarrung. — [253] a. a. O. S. 131.

[254] Trotz der scharfen Hervorhebung der drei „ersten Prinzipien" finden sich dieselben dennoch an verschiedenen Stellen der PARACELSUS-Schriften mit den vier aristotelischen Elementen verknüpft. Siehe hierüber KOPP, Beiträge a. a. O. III 139. Wir lesen bei HELMONT (Aufgang der Artzney-Kunst, Sultzbach 1683, S. 108): „Ferner aber meinet es der PARACELSUS ganz ernstlich / in dem er die vier Elemente scheiden will aus der Erde / dem Wasser / der Lufft und dem Feuer / und also aus den Elementen selbst: Welche Scheidung er doch in den drey

weitragenden Fortschritt zweifacher Art. Mit dem Gedanken, ideelle Abbilder jener stofflichen Produkte, zu welchen die chemische Analyse stetig hinführte, als Grundformen der Naturkörper aufzufassen, war nicht nur die Bildung des Begriffes vom chemischen Elemente als dem Stoffe, der durch alle zu Gebote stehenden Hülfsmittel weiter unzerlegbar erscheint, angebahnt, auch der Anstoß zu quantitativen Untersuchungen stofflicher Bestandteile war gegeben.

Im Gange unserer Betrachtungen über die Entwicklung des Stoffproblems auf chemischem Boden bedeutet uns das Lebenswerk des PARACELSUS einen bedeutsamen Wendepunkt, da die Lehre von den drei Grundsubstanzen zu einer neuen Elementenlehre ausgestaltet erscheint. Ist auch hier nicht der Ort, die Naturphilosophie des PARACELSUS des näheren zu beleuchten, so mag dennoch nicht unerwähnt bleiben, daß jener Gedanke, dem wir schon in der frühesten Alchemie als Abkömmling platonisch-stoischer und neuplatonischer Philosophie begegneten: der Gedanke von der Allbeseelung der Stoffwelt auch bei PARACELSUS kräftig rege wird. Wirkende Kräfte, schaffende Prinzipien beleben die Dinge, Archeï oder Lebensgeister nennt sie PARACELSUS, „eine verborgene krafft und tugendt der Natur", „kunsther und artist der Natur". Nicht persönliche Geister sind die Archeï somit, sondern Naturkräfte; ihre Wirksamkeit ist an die stofflichen Dinge geknüpft, durch deren Erforschung das geheimnisvolle Walten der Natur zu ergründen sein müsse. Die alchemistisch-neuplatonische Weltseelenlehre ist bereits zu einem Grundprinzip naturwissenschaftlicher Erklärung geworden.

Mit PARACELSUS ist für uns zum erstenmal eine Persönlichkeit auf den Plan getreten, welche der überlieferten aristotelischen Naturlehre grundsätzliche Verachtung entgegenstellt. Die Schilderung der einzelnen Etappen jenes Kampfes, der auf naturwissenschaftlichem Gebiete im 16. und 17. Jahrhundert wider die aristotelische Elementenlehre sich vollzieht, gehört der all-

---

ersten Dingen unmüglich zu seyn vorgibet: Eben als wenn diese drey ersten Dinge einfältiger und eher wären als die Elementen selbst. Und erinnert er sich nicht derjenigen Lehre die er selbst so offt wiederholet: Nemlich daß ein jeder Körper nur aus den dreyen Anfängen bestehet / nicht aber aus den Elementen."

gemeinen Geschichte der Naturwissenschaft an. Heftig entbrennt dieser Kampf, da die Physik aus dem Schatten der Scholastik heraustritt und ihr die induktive Epoche eines Kopernikus, eines Kepler und Galilei erblüht. Nur auf eine einzige gewichtige Phase im Verlaufe dieses Kampfes sei unser besonderes Augenmerk gelenkt. Neben der Zahl und den Eigenschaften der aristotelischen Elemente betrifft er die Unverwandelbarkeit der Elemente ineinander. Mit der Erfassung der Konstanz der Elemente — eine Anschauung, die in den alchemistischen Grundsubstanzen des Paracelsus bereits vorgebildet erscheint — ist der Stützpunkt gewonnen, von welchem aus die Stoffe in der Natur selbst als Gegenstände der Erfahrung zu fassen sind. Der Gedanke tritt in Sicht, jede Änderung in den Eigenschaften dieser Stoffe als Änderung ihrer räumlichen Zusammensetzung, das heißt der Anordnung von kleinsten Teilen zu betrachten. So ist die Idee von der Unverwandelbarkeit der Elemente ein nicht zu unterschätzendes geistiges Ferment in der Entwicklung der Fundamente moderner Naturwissenschaft: **der Atomistik.**

Die heiße Erregung des welthistorischen Kampfes wider die geistige Fessel aristotelischer Naturlehre wirft ihre Wellen auch in den Werken des niederländischen Arztes und Naturforschers Johann Baptist van Helmont (1577—1644), des Meisters der chemischen Experimentalforschung seiner Zeit. Wiederholt und ausdrücklich betont er, daß es zwei ursprüngliche und absolut nicht ineinander verwandelbare Elemente gebe, es seien dies: Wasser und Luft. Er nennt sie die „himmlischen erstgebornen / ursprünglichen Elemente“.[255] „Das Wasser“, lehrt Helmont[256], „könne niemals auch durch die Kälte nicht vergehen / oder durch einige Bemühung der Natur oder Kunst in Lufft verwandelt werden: Und hingegen auch die Lufft könne durch keine Zeit, wie lang sie auch sey / noch andere Mittel zu Wasser ge-

[255] Aufgang der Arztney-Kunst (Ortus medicinae), Das ist noch nie erhörte Grund-Lehren von der Natur etc. Geschrieben von Johann Baptista van Helmont etc. In die Hochteutsche Sprache übersetzet etc., Sultzbach 1683. Das Zitat S. 55. Über Helmont siehe auch Lasswitz a. a. O. I 343 ff. und Kopp, Beiträge a. a. O. III/151 ff. — [256] Aufgang der Arztney-Kunst, S. 102.

macht werden / solt es auch nur ein einziger Tropffen seyn." „Denn dieses ist der Natur des Wassers oder der Lufft gantz nicht gemäß / daß sie ein ander Element in ihr Wesen verwandeln solten. Und will ich demnach alsobald beweisen / dass nimmermehr kein einziger Tropffen Wasser zu Lufft werden; oder im Gegentheil die Lufft sich in Wasser verwandeln können: Welche Verwandlungen doch nicht so schwer zu seyn scheinen / als wenn die Erde in Wasser oder in Lufft versetzet werden solte. Hat nun die Natur die leichten Verwandlungen noch nie unternommen / wie kan man denn vermuthen / dass die schweren in ihr vorgehen? Und würde ja über diss die Erde von dem Wasser und von der Lufft / welche viel grösser sind als sie und so nahe an ihr stehen / auch mehr Würklichkeit haben / schon längst verschlungen und verwandelt worden seyn."[257] Wird in einem ellenlangen, eisernen Lauf, wie er an den Windbüchsen zu sehen ist, die Luft schier auf fünfzehn Zoll zusammengepreßt, so kann man mit einer dahinein geladenen Kugel, nicht anders als mit einem Rohr, so mit Pulver geladen ist, durch ein Brett durchschießen. Dieses würde ja nicht geschehen, wenn die Luft von gewalttätiger Zusammenpressung zu Wasser gemacht werden könnte. Diese Probe geht sowohl im Winter an bei der härtesten Kälte (da die Luft ohnedies zusammengeht und dichter ist) als in der Hitze des Sommers.[258]

Der tiefreligiöse Mystiker HELMONT[259] zieht überdies in einem eigenen Traktate[260] wider die Autorität des ARISTOTELES zu Felde. „Die Schulen haben ihrem ARISTOTELI solche beständige Treu geschworen / dass sie ihn noch heutiges Tages / mit diesem gemeinen Vorzugs-Namen / den Philosophen oder den weisen Mann nennen. Und gleichwol hab ich befunden, daß er in der Natur gantz unwissend gewesen; und will ich mich die Mühe nit tauren[261]

---

[257] a. a. O. S. 69. — [258] a. a. O. S. 95 u. 100. Eine ausführliche Beweisreihe für die Unverwandelbarkeit beider Elemente S. 115. — [259] Siehe STRUNZ: Die Psychologie des JOH. BAPT. VAN HELMONT in ihren Grundlagen. Zeitschr. f. Philosophie u. philosophische Kritik. Bd. 125. Daselbst Fußnote 1 Aufzählung von des Verfassers Arbeiten über den Lebensgang VAN HELMONT's. — [260] „Dass die Natur-Lehre des ARISTOTELIS und des GALENI voller Unwissenheit stecke". (Physica ARISTOTELIS et GALENI ignara). Aufgang der Arztney-Kunst, S. 48. — [261] = dauern.



JOHANN BAPTIST VON HELMONT.

Reproduziert nach dem Titelbilde Kupferstich zu: Aufgang der Artzney Kunst. Das ist noch nie erhorte Grundlehren von der Natur etc. Geschrieben von JOHANN BAPTISTA VON HELMONT auf Merode / Royenborch / Oorschot Pellines &c. Erbherrn. Anitzo auf Beyrahten dessen Herrn Sohnes HERRN H. FRANCISCI MERCURII / FREYHERRN VON HELMONT. In die Hochteutsche Sprache übersetzet in seine rechte Ordnung gebracht mit Beyfügung dessen was in der Ersten auf Niederländisch gedruckten Edition genannt Die Morgen-Rohte etc. Sultzbach / In Verlegung JOHANN ANDREAE ENDTERS SEL. SÖHNE / Anno M.DC. LXXXIII. Unter dem Bildnisse befinden sich die Verse:

„Diß ist der Heile Mond, zur Lehre von Artzneyen."
„Zu Langer Lebens-Frist: von Kranckheit zu befreyen."
„Er öfnet die Natur biß auf den tiefsten Grund,"
„Komm' höre was Er sagt der Warheit — Helle Mund."

Rechts unten der Vermerk: JOHANN ALEXAND. BAENER sc.

lassen / etliche Ursachen hieher zu setzen / die mich hierzu bewegen: Wiewol ich solches zu keinem andern Ende thue / als dass doch ins künfftig sowol die Lehrer als die Zuhörer in den Schulen sich weder durch Leichtglaubigkeit noch Gewohnheit zu heucheln mehr lassen von dem rechten Wege abführen / und weil sie sich von diesem Blinden leiten lassen / nicht etwan alle beyde in die Grube fallen möchten. Sonst begehre ich wol mit niemanden keine Comedie zu spielen / und bin ich übrigens dem ARISTOTELI nicht mehr gram und zuwieder / als einem Dinge / das nicht ist." „Eine Schande / sag ich / ist es allen Christen / dass sie in der Natur-Lehre einem solchen Führer nachfolgen mögen."[262] HELMONT bestreitet den Elementcharakter des Feuers und der Erde auf das entschiedenste. Das Feuer habe nichts Stoffliches an sich und sei in keinem Körper als materieller Bestandteil enthalten. „Nirgend aber findet man etwas von der Schöpffung des Feuers: Darumb erkenn ich auch nicht, dass dasselbe unter die Elementen gehöre: Und sage damit allem Heydenthum ab." „Und kan ich demnach nicht zugeben, dass GOTT vier Elementen erschaffen / weil von der Schöpffung des Feuers / als des Vierdten nichts zu finden. Und ist folglich ein leeres Vorgeben / dass das Feuer materialischer Weise mit darzu komme / wenn die Cörper gemischet werden."[263] Die Erde wird aus der Reihe der Elemente entfernt, da sie in Wasser umwandelbar sei. „Warumb ich aber die Erde nicht unter die ursprünglichen Elementen rechne / ob solche gleich im Anfang so bald mit geschaffen worden / ist dieses die Ursache / dass sich dieselbe endlich in Wasser verwandeln / und ihres Wesens gantz berauben läst."[264]

Die überlieferte Vierzahl der Elemente ist somit auf die Zweizahl von Wasser und Luft reduziert. Die Luft, legt HELMONT dar, ist „darzu verordnet / dass sie eine Scheiderin der Wasser seye / auch so lang also bleiben soll / als die Welt tauren[265] wird. Zu welchem Ende sie denn zwo vortreffliche Kräffte und Eigenschafften überkommen: Nemlich eine sehr starcke Kälte und

[262] a. a. O. S. 50. — [263] a. a. O. S. 55, 68. Über die Natur des Feuers S. 176 ff. Die Flamme nennt HELMONT einen „angezündeten Rauch". S. 122. — [264] a. a. O. S. 67. — [265] = dauern.

eine in eben solcher Maß stehenden Truckenheit“.[266] „Denn das ist allezeit die Eigenschafft der Lufft / dass sie die Wasser voneinander reisset und trennet.“[267] Obgleich die Luft „durch ihre höchste Kälte / das Wasser in den subtilsten Dunst (Gas) verwandelt; so höret sie doch niemals auf / das Ampt ihrer Wasser-Scheidung zu führen: Also dass sie / wenn gleich ihre Kälte gebrochen wird / zum wenigsten doch mit ihrer Truckenheit nie ablässet / Dämpffe aus dem Wasser zu erwecken“.[268] Somit entstehen neue Formen des unwandelbaren Grundelementes Wasser: „Dampf“ und „Gas“. Dieser letztere Begriff HELMONT's, der Begriff vom „Gas“ oder vom „subtilsten Dunst“ (auch „subtiler Wasser-Geist“), ist von ganz hervorragender Bedeutung, denn mit seiner Prägung legt HELMONT das Fundament zur künftigen Lehre von den Gasen. Mit HELMONT[269] beginnt die exaktere Scheidung der Begriffe Luft, Wasserdampf und Gas, beziehungsweise der Vorstellung von im gasförmigen Aggregatzustand befindlichem Stoffe. „Gas“ ist im Ideeenkreise HELMONT's ein trockener, luftförmiger Hauch, welcher sich in der Kälte entwickelt und keineswegs mehr in eine tropfbare Flüssigkeit umwandelbar ist. „Dampf“ (vapor) dagegen entwickelt sich in der Wärme und wird in der Kälte wieder zu Wasser. „Das ist schon bekandt genug / dass das Wasser durch die Gewalt der Hitze / in Gestalt eines Dunsts / in die Höhe gehoben werde / welcher Dunst gleichwol nichts anders ist / als ein dünn gemachtes Wasser / und bleibt auch so wie zuvor; dannenher er durch den Helm (alembicum)[270] wieder zurück getrieben / zu einem Wasser wird / das eben so schwer ist als zuvor.“[271] Beide Begriffe jedoch: „Gas“ und „Dampf“, faßt HELMONT in dem höheren Ordnungsbegriff „Dunst“ (halitus) zusammen. „Nun will ich mich aber zu der Beschreibung des Dunstes (Halitus) wenden / unter welchem Worte denn so wol der gemeine Dampff (Vapor) als auch der subtile Wasser-Geist (Gas) verstanden wird.“[272] HELMONT verfolgt

[266] a. a. O. S. 110. — [267] a. a. O. S. 11. — [268] a. a. O. S. 117. — [269] Siehe hierzu STRUNZ: Die Entstehungsgeschichte der Lehre von den Gasen. Ein Beitrag zur Klarstellung der Naturwissenschaft des JOHANN BAPTIST VAN HELMONT. Janus, 15. Februar u. 15. März 1903. — [270] Vom arabischen al-embig (alembix)-Destillierhelm (Retorte), Brennkolben. — [271] a. a. O. S. 101. — [272] a. a. O. S. 110.

nun eingehend die Umwandlung des Wassers in „Dampf“ und in „Gas“.[273] Hierzu faßt er die Vorstellung, daß der Körper des Wassers in sich einen „Elementalischen und ihm angeschaffenen flüssigen und gantz einfältigen Mercurial-Geist (Mercurius)“ enthalte, „wie auch ein unschmackhafftes und einfältiges wasserhafftiges Saltz: Welche beyde einen einförmigen / gleichartigen / einfältigen und unabscheidlichen Schwefel in sich enthalten.“ Dieses setzt er jedoch bloß „lehrens halben“ voraus, „damit hierdurch der Schwachheit unseres Verstandes umb etwas unter die Armen gegriffen werde“.[274] Durch Erwärmen wird das Salz zum Aufsteigen gezwungen, wobei es den Mercurius und den Schwefel mit sich fortführt: „So wird nun das Saltz des Wassers / als welches durch die geringste Wärme beweget wird / und sich erhitzet / weil es keine Wärme vertragen kan / alsobald in die Höhe getrieben / und steiget mit einem gleichmässigen Theil seines Mercurial-Geists hinauf / als gleichsam an den Ort der Ruhe und der Abkühlung. Und muß demnach auch der Schwefel / welcher von beyden unabgeschieden bleibt / mit folgen. Diese drey also verknüpffte Dinge[275] werden ein Dampff genennet: Welcher, wenn er in die laulichte Lufft hinauf kommet / und eben der Ursachen willen weiter fort eilet / und sich höher hinauf begiebet / biß er an den Ort der Abkühlung gelanget / den der Schöpffer hiezu verordnet hat. Wann dieser Dampff nun dahin kommen / so leget er alsobald

[273] Interessant ist die Etymologie des Wortes „Gas“. Helmont gebraucht es wohl überhaupt das erste Mal, und es ist auch als seine Wortbildung anzusehen. Er leitet „Gas“ von „Chaos“ (= gähnend leerer Raum) ab. „Weil aber das Wasser / wenn es durch die Kälte zu einem Dunst wird / gantz einer andern Art ist / als der Dunst / der von der Wärme in die Höhe getrieben wird; so hab ich mir bey dieser ungewöhnlichen Sache die Freyheit genommen / und diesen Dampff / aus Mangel eines andern Namens ein Gas genennet: weil kein großer Unterschied zwischen demselben / und zwischen dem Grund-Wesen / welches die Alten Chaos genennet: (Auf deutsch nennen wir es einen Wasser-Geist)“. a. a. O. S. 108. Jedoch schon Paracelsus spricht von „Windkälte, Chaoskälte, Lufftkälte“, Opus paramirum herausg. von Strunz, S. 161. „Das Wort Chaos“, bemerkt Strunz, „ist meiner Meinung nach, hier in einem Zusammenhange gebraucht, daß man nicht mit Unrecht versucht sein könnte zu behaupten, daß Paracelsus es für das später aufkommende Wort Gas setzt.“ — [274] a. a. O. S. 110 ff. — [275] Die im folgenden gesperrt gedruckten Stellen sind im Original im gewöhnlichen Drucke wiedergegeben.

diejenige Wärme / so seiner Natur gantz zuwieder ist / ab und hinweg / und wolte das Saltz / welches gleichsam eine Reu empfindet / dass es sich dergestalt auf die Flucht begeben / lieber wieder in seinem Mercurial-Geist aufgelöset werden / und in den vorigen Stand des Wassers treten. Es stehet ihm aber die sehr grosse und hefftige Kälte desselbigen Orts entgegen: Durch deren Verursachung der Mercurial-Geist des Wassers dermassen zu Eyß wird / daß er sich nicht tüchtig befindet, sein Saltz auflösen zu können. Dannenhero wird dieser Dampff alsobald in den subtilsten Wasser-Geist (Gas) verwandelt / und bleibet in Gestalt dieses allersubtilsten Dunstes (Gas) so schweben / und fähret bald hin bald her; also und dergestalt nun wird der Schwefel des Wassers durch die Kälte an seinen auswärtigen Theilen ausgetrucknet / und auf solche Art aufs kleinste zertheilet: Sonsten würde der gantze Dampff (wie es in unseren gläsernen Geschirren zugehet) sampt der gantzen Wolcke / dieweilen sie schwerer als die Lufft / zurücke herunter fallen. Daher sehen wir / daß oftmals die Dämpffe bald wieder herab fallen / ehe sie noch an den gehörigen Ort gelangen (wie es etwan bald nach einer grossen Kälte geschiehet / wenn unvermuthlich der Sudwind anfänget zu wehen): Da denn der Mercurial-Geist des Wassers wieder auftauet / und das Saltz des Wassers gar leicht in demselben seinen Mercurial-Geist wieder aufgelöset wird. Nemlich die ungestüme Anfälle der Kälte und der Wärme haben über die anfangenden Dinge des Wassers ziemlich viel zu gebieten / und können dieselben bald hinein bald heraus kehren. Auf solche Weise fallen die kleine Staub-Regen / wie auch der Tau in sehr kleinen Theilchen und Stäublein hernieder; als gleichsam wieder aufgelösete und hernieder sinckende Dämpffe: Derohalben geschiehet keine neue Zeugung oder Geburt / in dem aus dem Wasser ein Dampff in die Höhe steiget; sondern dieses alles ist nur eine blosse Dünnmachung / weil die innwendigen Theile herauswärts gekehret werden. Wie denn solches auch nicht geschiehet / wenn der Mercurial-Geist des Wassers / das Saltz wieder auflöset / und abermal in sich verschlucket / da denn der Dampff in einen Regen verwandelt wird. Denn dieses ist nichts anders / als daß die vorigen Stäublein des Wassers sich wieder

auflösen und in grössere Tropffen zusammen setzen. Denn wo nur eine räumliche Trennung und Herauskehrung der inwendigen Theile ist / da gehet keine Veränderung des Wesens selbsten für.“ Der Mercurial-Geist und das Salz des Wassers sind kälter als der Schwefel; sie werden demnach von der Kälte der Luft auch eher angegriffen, „und zwar der Mercurial-Geist zum allerersten / weil er unter diesen beyden Gesellen der Kälteste ist“. Mercurial-Geist und Salz des Wassers eilen so bald als möglich sich selbst vor der Kälte der Luft zu beschirmen, denn ein jedes Ding verlangt nicht mehr, als ohne Veränderung und Abwechslung in Ruhe zu bleiben. „Und also wird das Saltz bey der Kälte so zu sagen / in etwas starr und steiff / in dem Mercurial-Geist und Schwefel: Also dass der Schwefel / welcher truckner ist als die andern beyde / auch leichtern Anstoß leidet von der Kälte / als seine Mit-Gesellen; und zwar mehr von der Truckenheit der Lufft als von ihrer Kälte. Dannenhero wird der Schwefel in die kleinsten Theile zerzerret / in derem jeglichen die Mercurial-Geister und die starr gewordene Saltzen ihren Schwefel herauswerts kehren / dass er von der Truckenheit der Lufft desto besser angegriffen werden kan. Und weil nun des Schwefels ebenso viel ist / als eines von ihnen / so müssen nothwendig die andern beyde auch getheilet und zerzerret werden / so weit als der Schwefel. Da denn gar leicht durch die Kälte der Lufft auch der Mercurial-Geist und das Saltz des Wassers in dem Schwefel drinnen gefrieren. Und weil demnach das Saltz und der Mercurial-Geist nicht tüchtig genug sind / den Schwefel zu befeuchten / so müssen sie nothwendig alle zusammen in den subtilesten Geist (Gas) verwandelt werden / da sie denn immer subtiler und subtiler werden / und sich zuletzt in die äußerste Subtiligkeit zertrennen lassen / als je ein Element aufs müglichste ausstehen kan. Und ist nun folglich dieser subtile Wasser-Geist (Gas) kein neues Ding oder Wesen / sondern ist von dem Wasser und Dampff nur durch eine gewisse Veränderung unterschieden. Denn in dem Dampff / steiget das Saltz / welches die Wärme nicht erleiden kan / mit dem Mercurial-Geist in die Höhe / und haben den Schwefel in sich verschlossen. Der subtile Geist (Gas) aber / kehret den Schwefel des Was-

sers heraus / trucknet den aus und zertheilet ihn." Soll der subtile Wasser-Geist wieder zu Regen werden, dann muß er wieder in den Mittelteil der Luft herabgebracht werden. „Nemlich eine gelinde Wärme so in der stillen Lufft entstehet / die machet / dass die untheilbaren Stäublein dieses dünnen Geistes (Gas) herab fallen / wie sie mit ihrem Schwefel umgeben und bedeckt seyn: An welchem gleichsam das Häutlein zerspringet / oder er sonst zerbricht wie ein Glaß / welches gähling aus der Wärme in die Kälte gebracht wird. Und also kan der Mercurial-Geist des Wassers ein Saltz wieder auflösen / und wenn dasselbe wieder zergangen / schmiltzt auch der Schwefel wieder zu Wasser wie zuvor."

Unschwer ist unter der phantastischen Hülle der HELMONTschen Erklärungsweisen ein entwicklungsfähiger Keim zu erkennen. „Dampf" und „Gas" unterscheiden sich durch verschiedene Anordnung der Grundsubstanzen in ihren kleinsten Teilen, denn der Übergang von „Dampf" in „Gas" ist von einem Nachaußenkehren des Schwefels wie von einer Teilung und Ausdehnung des Schwefels im Verein mit den beiden anderen Grundsubstanzen des Wassers begleitet. Diese Erklärungsweise klingt somit deutlich an die Molekulartheorie späterer Zeiten an, indem das Wesen der drei Grundsubstanzen offenbar der Vorstellung von einem Zerteiltsein in die kleinsten Teile Spielraum gibt. In der Tat gebraucht HELMONT an verschiedenen Stellen den Ausdruck Atome, „die allerkleinsten Unteilbarkeiten"[276], worunter jedoch nur sehr kleine Partikeln zu verstehen sind. Jedoch noch ein zweites Moment von bedeutsamem Interesse birgt HELMONT's Erklärungsweise der Entstehung des „Gas" in ihrem Schoße. In HELMONT's Gedankenreihen, wie sie den Aufstieg des Wasserdampfes sowie dessen Übergang in den subtilen „Wasser-Geist",

---

[276] So namentlich a. a. O. S. 103, ferner S. 107, wo er die Natur des Nebels erörtert und S. 113, wo er von den kleinen Teilchen (minutulae atomi) des Goldes spricht, die etwa im Silber sich befinden und zu Boden sich begeben, wenn man das Silber schmilzt. Auch in dem Traktat: „Daß etwas leeres in der Natur vorhanden sey" (Vacuum naturae) ist dieser Begriff ein wichtiger Erklärungsbehelf. a. a. O. S. 120 ff.

das „Gas“, entwickeln, werden, wenn auch noch in verschwommenen Konturen, die Züge raumchemischer Vorstellungen erkenntlich. Auf der allerentschiedensten Betonung, daß die Umwandlung des Wassers zu „Dampf“ und „Gas“ beileibe keine Veränderung seiner Stofflichkeit in sich schließe, baut sich die fundamentale Vorstellung von der Änderung in der räumlichen Anordnung der drei idealen Grundsubstanzen des Wassers auf. „So erinnere man sich unseres Grund-Satzes / nemlich / dass gleich wie das Wasser Wasser bleibt in seinem Wesen und Substantz / ob es gleich zu Schnee oder sonst sichtiglicher / härter / steiffer / und geschloßner worden; also dasselbe auch Wasser bleibe in seinem Wesen und Zeuge / ob es gleich zu Dampff oder subtilem Dunst (Gas) verändert wird: In dem alle diese Gestalten zwar Veränderungen / aber keines weges Verwandlungen des Wesens seyn. Desgleichen / ob gleich das Wasser mehr Furcht hat / ein subtiler Dunst (Gas) / als ein Dampff zu werden / so folgt doch nicht / dass alsdenn eine Verwandelung des Wesens vorgehe / sondern es ist nur eine frembde Gestalt / kleinere Vertheilung / mehrer Eintruck der Truckenheit in seinen Schwefel / grössere Entfremdungen dem Flüssen und lauffen auf Wassers Art.“[277] Der Lauf der Geschichte läßt 226 Jahre nach dem Erscheinen des Helmontschen Ortus medicinae (1648) wiederum einen Niederländer zum Schöpfer der modernen Idee von der Lagerung und Gruppierung der Atome im Raume werden. Im Jahre 1874 übergibt Jacobus Henricus van't Hoff seine Schrift: „Voorstel tot uitbreiding der structuurformules in de ruimte“ der Öffentlichkeit. In Form der Annahme, daß das quadrivalente Kohlenstoffatom im Zentrum eines Tetraeders sich befinde, von wo aus seine Valenzen sich gegen die Ecken hin erstrecken, wird der epochale Gedanke der modernen Chemie als ein Neues an Wesen, als ein Neues in seiner nunmehrigen überquellenden Fruchtbarkeit wiedergeboren.

Trotz der hervorstechenden Rolle, welche den drei alchemistischen Prinzipien in dem Helmont'schen Vorstellungskomplex über die Bildung des „Gas“ zugewiesen ist, bekennt sich Helmont keineswegs zu der Stofflehre des Paracelsus. Er ist vielmehr ein entschiedener Gegner dieser Lehre, welche er als Phantasiegebilde brandmarkt. „Denn das sind in Warheit nicht

[277] a. a. O. S. 117.

die drey ersten Dinge / die man nur in der Phantasie davor ansiehet."[278] Solche Dinge, wie die drei Prinzipien der Alchemisten, können „weder den Namen und die Würde der Anfänge" haben, noch sind sie für solche allgemeine Körper zu halten, welche allen Arten gemeinsam wären. Sie sind ursprünglich selbst aus „dem Element des Wassers gezeuget" und werden wieder zu Wasser.[279] Das Wasser jedoch läßt sich in diese drei Prinzipien nicht zerlegen. „Ob aber nun gleich in dem Wasser etwas zu seyn scheinet / das den ersten drey Dingen ähnlich wäre", bemerkt HELMONT, „so ist doch keine Hoffnung / dieselben voneinander zu trennen; sintemalen in der vollkommenen Einfältigkeit des Wassers zwar etlicher massen was steckt das einem Schwefel zu vergleichen seyn möchte; solches aber von den andern nicht kan abgesondert werden / dass sie nicht alle miteinander zugleich gehen."[280] Im eigentlichen Sinne ist somit das Wasser keineswegs aus dem Merkur, Sulfur und Sal als den drei Grundsubstanzen zusammengesetzt; schwierig bleibt es allerdings zu verstehen, wie denn eigentlich das nähere Verhältnis der drei Prinzipien zum Wasser beschaffen sei. Wie wenig scharf HELMONT's Begriffe in Bezug auf diesen Punkt herausgearbeitet waren, möge folgende charakteristische Stelle beleuchten: „Dass ich aber bißweilen dem Element des Wassers seine drey Stücke beygelegt / das ist nach einen gewissen Aehnligkeit geredet: Sintemalen außer den unmaterialischen Geistern / unter den Cörpern nichts so gantz gleichförmig ist / dass man sich nicht einbilden könne als ob dasselbe nach unterschiedlichen Gestaltungen auch unterschiedlich beschaffen wäre / und müssen dieselben Gestaltungen ja auf eine gewisse Ungleichförmigkeit solches Dinges zielen. Und ist anbey genug / dass ich daselbst zugleich erinnert / was massen die ungleichförmigen Theile des Wassers in dem allereinfältigsten Cörper des Elements weder durch Kunst noch durch die Natur in alle Ewigkeit nicht getrennet würden / ja in der That unmüglich zu trennen wären / weil sie in einer äussersten Einfachheit bestünden. Dannenhero ob ich gleich selbiger Orten von den drey ersten Dingen des Wassers Meldung gethan / so sind solches doch nicht drey Stücke einiger Zusammensetzung als gewisse

[278] a. a. O. S. 106. — [279] a. a. O. S. 34 und S. 143. — [280] a. a. O. S. 105/06.

vorgängige Anfänge des Wassers: Sondern drey Arten seiner Ungleichförmigkeit. Welche Ungleichförmigkeit zwar das Wasser nur in sich hat umb deßwillen / weil es ein Cörper ist / deßwegen es zum wenigsten in den Gedancken in solche Verschiedenheiten getheilet werden kan / wiewohl dieselben in der That voneinander zu reissen unmüglich ist: nichts desto weniger ist es vermuthlich ob gleich diese Theile nicht ein wahrer Schwefel / Saltz und Mercurius sind / dass sie denselben wenigstens etlicher massen ähnlich fallen."[281] Mit allem Nachdruck findet sich überdies betont, daß die „drey ersten Anfänge der Alchemisten" bei der Einwirkung des Feuers keineswegs durch einfache Abscheidung zum Vorschein kommen, sondern durch eine vom Feuer bewirkte Umwandlung als neue Dinge entstehen. So heißt es folgendermaßen: „Darumb mach ich diesen Schluß: Die drey ersten Dinge sind ein neulicher Fund wider die Wahrheit der Natur und der Sache selbst." „Obgleich aus etlichen Dingen die drey ersten vor ein Theil durch das Feuer heraus gezogen werden / so geschiehet solches doch nicht als wenn sie vorhero drinnen steckten / und also voneinander geschieden würden: Sondern also / dass sie durch eine gewisse vom Feuer entstehende Verwandlung daselbst als neue Dinge gezeuget werden / und also erst etwas hervorkomme / was vorhero noch nicht da war." Denn das stecke ja nicht eben in einem Dinge, was aus demselben gemacht werde: sonst müßten in dem Brote Blut und Knochen stecken von allerlei Geschlecht und Art. So steckt auch in dem Marmor kein Glas, obgleich aus Marmor durch einen gewissen Zusatz Glas gemacht werde. So ist auch das feuerbeständige Aschensalz (alcali fixum) in den Gewächsen nicht vorher darin gewesen, sondern erst durch das Brennen beständig gemacht worden. „Darumb will die Lehre von den drey ersten Dingen nicht stich halten / indem sie nicht allein die Natur unter gewaltsame Regeln zwinget: Sondern auch diese Dinge / wenn sie etwas erstes seyn / und die Natur einem andern den Anfang zu geben / haben sollen / beständig seyn müsten [welches auch ARISTOTELI nicht unbekandt gewesen]; Also daß nicht eines in das andere verwandelt werden könnte."[282] Mehrenteils habe HELMONT befunden, daß die drei

[281] a. a. O. S. 711/12. — [282] a. a. O. S. 710/11.

ersten Dinge aus jenen Körpern, aus denen man sie herauszuziehen vermeine, nur durch den Zusatz eines dritten Dinges, welches die Verwandlung bewirke, oder aber durch eine Zusammensetzung herausgebracht werden könnten.[283]

Deutlich prägt sich in diesen Gedankenpfaden das Ringen nach klaren Begriffen aus. Mystisch-alchemistische Einflüsse, das Erbe verflossener Jahrhunderte, kreuzen sich in HELMONT's Werke mit dem energischen Streben, das Verständnis chemischer Prozesse auf der Grundlage quantitativ-empirischer Forschung aufzubauen. An der Scheide zweier Weltanschauungen steht der bewundernswerte Mann, den der Tod nur allzu früh bei der klärenden Ausarbeitung seiner Werke überraschte, welche vielleicht noch so manche Begriffsreihe in festere Formen gefügt hätte.[284] Das Licht der eben aufgehenden Zeit korpuskular-mechanischer Naturauffassung wirft bereits seinen Schimmer über das Wesen HELMONT'scher Begriffsbildung. Die Naturphilosophie HELMONT's, deren Unterbau eine tiefe Religiosität nicht ohne mystische Färbung ist, sei nur am Saume gestreift. Jeder natürliche Körper, so lehrt HELMONT, rührt von zwei inneren Ursachen her: 1) der Materie, als dem Substrat der Dinge und als das selbständige Wesen des hervorgebrachten Dinges, 2) der wirkenden Ursache, das ist das inwendige und seminale[285] Agens. „Und also hab ich nach fleissiger Untersuchung aller Dinge befunden / dass ein natürlicher Cörper nicht anders als nur von zwoen Ursachen herrühre / nemlich von der Materie und der würckenden Ursache; so inwendig in ihm zu finden: [Zu denen sich mehrentheils eine gewisse / auswendige aufweckende zu gesellen pfleget]. Und das zwar dahero / dass diese zwo vor sich und vor andere Dinge übrig genug sind / und den gantzen Bau und Ordnung / Bewegung / Entstehung / Siegel und Zeichen / auch Eigenschafften der Dinge / und endlich alles was zu derer Wesen und zu der Fortpflantzung erfordert wird in sich enthalten."[286] So sind alle Werke der Natur mit einer inneren Kraft begabt, von

[283] a. a. O. S. 714. — [284] HELMONT's Schriften wurden größtenteils erst nach seinem Tode bekannt, als sein Sohn FRANZ MERCURIUS sie 1648 in einer umfassenden Sammlung: „Ortus medicinae" herausgab. — [285] semen = Samen. — [286] a. a. O. S. 33.

einem inneren Leben getragen. Diese Ideen von den inneren Ursachen, dem inneren Lebensprinzip der Dinge streifen mit ihrem Lichte auch das nicht eben klare Verhältnis des Wassers zu den drei traditionellen Grundsubstanzen der Alchemie. Auch im Elemente Wasser ist ja eine innere Anlage zu denken, aus welcher alle seine Erscheinungsformen hervorgehen, durch welche die Möglichkeit innerer Umwandlung gegeben ist. Diesen Bedingungen trägt nun die Voraussetzung eines idealen Merkurs, Sulfurs und Sals zur Genüge Rechnung.

Die stattliche Zahl der chemischen Kenntnisse Helmont's einzeln Revue passieren zu lassen, kann nicht unsere Aufgabe sein. Jenes klassischen Versuches aber sei gedacht, den wir schon in der Anlage bei Nikolaus Cusanus[287] vorfanden; er betrifft den Nachweis, daß „alle Erd-Gewächse unmittelbarer Weise ihrer Materie nach bloß allein aus dem Element des Wassers herfür kommen".[288] In einem trocknen Erdreich von 200 Pfund pflanzt Helmont einen Weidenstamm an, dem allein nur Regenwasser oder destilliertes Wasser zugeführt wird. Ein eisernes, verzinntes Blech, „so voller Löchlein war", schützt das Ganze vor Staubzutritt. Obgleich nun im Verlaufe von fünf Jahren ein stattlicher Weidenbaum herangeblüht ist, beläuft sich das Erdreich, neuerlich getrocknet und gewogen, immer noch auf dieselben 200 Pfund („etwan zwo Untzen weniger"). Nicht nur ist es dieser Versuch allein, in dessen Verlaufe die Wage als Hauptinstrument zur quantitativen Beobachtung von Naturprozessen sich geltend macht. Auch die Verbrennung der Holzkohle findet sich mittels der Wage verfolgt. „Nemlich aus zwey- und sechzig Pfund eichenen Kohlen / bekommt man ein Pfund Aschen", berichtet Helmont. „So sind denn die übrigen ein- und sechzig Pfund derselbige wilde Geist oder Dunst (Spiritus Sylvester) / welcher / wenn er gleich im glüen ist / gleichwol nicht davon gehen kan / so das Gefäß verschlossen ist."[289] Selbst der Satz von der Erhaltung des Stoffes[290] gelangt in einzelnen experimentellen Fällen zum klaren Ausdruck. Gleich

---

[287] Siehe S. 127. — [288] a. a. O. S. 148. — [289] a. a. O. S. 145. Nach der Ansicht Helmont's geben die Kohle und „ins gemein alle Cörper / welche nicht unmittelbarer Weise zu Wasser werden / und doch auch nicht fix sind / nothwendig einen wilden Geist und Dunst (Spiritus Sylvester)". — [290] Siehe Seite 11.

wie das Glas durch Kunst zu einem „künstlichen Gemächte worden: So kan durch Kunst dessen Band auch wieder aufgelöset werden / dass es in seine vorigen Anfänge zerfället / also dass man eben denselbigen Sand mit eben dem Gewichte wieder heraus bekommen kan / welcher sich durch den Fluß und starcke Schmeltzung im Ofen mit dem Aschen-Saltz (Alcali) in ein solch durchsichtiges Stein-Werck oder Glaß-Wesen begeben.“[291] Man schlage Gold zu Blechlein, hernach zu den feinsten Blättlein, ferner mache man Maler- oder Muschelgold daraus und reibe es wieder auf dem Marmorstein; hernach verreibe man es mit Zinnober und mit Salz und scheide den Zinnober durch das Feuer und das Salz durch Wasser wieder davon, und dieses wiederhole man nach Belieben, so oft man will; endlich reibe man es mit Salmiak, Spießglas und Sublimat wohl untereinander und treibe es in einer Retorte herüber und wiederhole dies siebenmal, so daß das ganze Gold in die Gestalt eines purpurfarbenen, flüchtigen Öles gebracht wird. Trotzdem das Gold, dieser harte, dichte, den Hammer leidende und überaus beständige Körper nunmehr in die Gestalt und die Natur eines Öles verwandelt zu sein scheint, wird „aber in Warheit / dieses verstellete Wesen / gar leicht wieder zu dem vorigen Gewicht / und in die Gestalt des ersten Cörpers gebracht“.[292] Und analog berichtet HELMONT vom Silber: „Ich erinnere mich auch / dass ich auf Silber-Kalck den sauren Geist von Schwefel gegossen / welcher alsobald in dem Silber alle scharffe Herbigkeit und Säure abgeleget und im Uberdistilliren dieselbe in eine Gallen Bitterkeit verwandelt. Das Silber aber bleibt eben das wie vor / an Substantz / Gewicht und Pulver“.[293] Die Vorstufe zu dieser Erkenntnis von der Erhaltung des Stoffes durch eine Reihe chemischer Prozesse hindurch („nach so vieler Marter des Goldes“) bildet die Erfassung von der Unveränderlichkeit des Metallcharakters bei der Auflösung durch Säuren. Ganz im allgemeinen gilt nach HELMONT, daß „die Scheide-Wasser die Metallen nicht dem Wesen nach verändern“, und im einzelnen: „ob gleich der bisherige dichte Cörper durchsichtig worden / das Silber doch gantz wieder draus zu haben ist“.[294] „Denn ob gleich

[291] a. a. O. S. 70. — [292] a. a. O. S. 102. — [293] a. a. O. S. 820. — [294] a. a. O. S. 1120.

das Silber / wenn es im Scheide-Wasser aufgelöset ist / gantz vergangen zu seyn scheinet / weil es aussiehet / wie ein Wasser; so bleibet es doch in seinem vorigen Wesen."[295] Blei, „welches dreymal sublimiret gewesen", ist „wieder zu demselben Bley worden / das es zuvor gewesen".[296] Und „wenn sich der Vitriol-Geist mit Quecksilber erhitzet", dann bleibt das Quecksilber „ungeändert dem Wesen und der Materie des Quecksilbers nach: nur daß es die Gestalt eines Schnees annimmt; dabey es doch nichts von seiner Substantz verleuret".[297]

Hellleuchtend ist das Verdienst des großen Forschers, die Grundlage zu jenem Begriffe gelegt zu haben, ohne welchen die Weiterentwicklung der Chemie undenkbar erscheint: den Begriff des Gases. Der Mangel des Begriffes vom chemischen Individuum läßt zwar die Anschauungen HELMONT's über die bloße physikalische Aggregatform nicht hinwegkommen, so daß er einerseits „Gas" als besondere Erscheinungsform des Elementes Wasser auffaßt und andererseits gerade die Luft nicht als Gas, sondern als Element betrachtet, jedoch ist mit der Verfolgung der Umwandlung von Wasser in „Gas" zweifelsohne ein entscheidender Schritt zur Ausbildung des Begriffes vom chemischen Individuum getan.

Im allgemeinen dürfte es schwierig wenn nicht unmöglich sein, in die Vorstellungsart HELMONT's völlig einzudringen. Seinen Begriffen mangelt es noch an abgeklärter Festigkeit. Wie schon vorhin angedeutet, prägt sich ja im wissenschaftlichen Charakterbilde HELMONT's deutlich der Typus jenes Naturforschers aus, in dessen Bewußtsein, vom Widerstreit zweier Weltanschauungen erfüllt, neue Begriffe in der Naturauffassung gewaltig nach Klärung ringen. Was in HELMONT's Werke nur im Keime angedeutet sich findet: die korpuskulare Auffassung von Naturprozessen, sollte im Genie eines ROBERT BOYLE seine volle Macht entfalten. Mit ROBERT BOYLE ist die Chemie endlich an jenem Wendepunkte angelangt, welchem sie im Kampfe gegen die aristotelische Naturauffassung zustrebte. Mit genialem Ungestüm hatte PARACELSUS diesen Kampf auf chemischem Boden eröffnet, HELMONT ihn erfolgreich weitergeführt. Zwischen die Lebenswerke beider

[295] a. a. O. S. 105. — [296] a. a. O. S. 486. — [297] a. a. O. S. 819.

Männer fällt die Abfassung der BASILIUS-Schriften. Die neuere Forschung hat, wie erinnerlich, diese Schriften als Vermittlungsversuch zwischen der originellen paracelsischen Elementenlehre und der überlieferten aristotelischen dargelegt. Der Radikalismus des PARACELSUS scheint in ihnen zugunsten der aristotelischen Naturauffassung gemildert. Auf den letzten Abschnitten des Weges, welcher zur Höhe der korpuskularen Anschauungen BOYLE's hinanführt, bietet sich nochmals ein Vermittlungsversuch dar zwischen der aristotelischen Tradition und den neu auftauchenden, korpuskularen Anschauungen umwälzenden Charakters. DANIEL SENNERT[298] (1572—1637), der berühmte Jatrochemiker und Arzt an der Universität zu Wittenberg, welcher als erster das Studium der Chemie als Teil des medizinischen Bildungsganges einführte, äußert in seinen Werken ganz deutlich Ansichten über das Bestehen der Stoffe aus kleinen Elementarteilchen, den Korpuskeln. Indem SENNERT an die atomistische Tradition der medizinischen Schule aus spätantiker Zeit anknüpft[299], ist sein Bestreben dahin gerichtet, den Boden der aristotelischen Naturlehre nicht gänzlich zu verlassen, sondern vielmehr zwischen seinen korpuskularen Anschauungen und der überlieferten Elementenlehre des Stagiriten einen vermittelnden Standpunkt zu gewinnen. Hierbei ist er durchwegs bemüht, seine Lehre auf chemische Erscheinungen zu stützen. So nennt SENNERT die Rauchentwicklung bei der Verbrennung der Körper und die Sublimation als Erscheinungen, denen ein Auseinandertreten der minimalen Elementarteilchen, aus welchen die Stoffe bestehen, zugrunde liegt. Die Auflösung von Metallen in Säuren und von Salzen in Wasser beweist die Existenz von Korpuskeln; die Inkrustation von Körpern in klaren, durchsichtigen Mineralquellen liefert den Nachweis für die äußerst feine Verteilung der Stoffpartikelchen im Wasser. Im Verlaufe aller dieser Erscheinungen bleibt die Natur der Körperteilchen ungeändert, nur die äußere Gestaltung der Naturkörper ist dem Wechsel unterworfen. In aller Deutlichkeit sei dies namentlich an der Sublimation zu ersehen, sowie auch an den zahlreichen Fällen äußerlicher Verschiedenheit von Körpern, welche stofflich gleich und ineinander

[298] Über SENNERT siehe namentlich LASSWITZ a. a. O. I, 436 ff. — [299] Siehe Seite 44.

überführbar seien, vorzüglich das Quecksilber, welches als Flüssigkeit, als Pulver etc. erhalten werden kann. Stoffliche Minima, welche den höchsten Grad der Teilung darstellen, den die Natur erreicht, sind der Anfang aller Naturkörper. Diese physischen Minima, die atomi, atoma corpuscula, minima naturae sind die Bausteine der zusammengesetzten Körper. Im Rahmen seiner korpuskularen Naturauffassung findet SENNERT einen Anknüpfungspunkt an die aristotelische Elementenlehre in der Art, daß er zweierlei Gattungen von Atomen unterscheidet: Elementaratome, aus denen sich die vier Elemente zusammensetzen, die Feuer-, Luft-, Wasser- und Erdatome[300], und diejenige Gattung, in welche die zusammengesetzten Körper bei der Auflösung und Mischung zerteilt werden und durch deren gegenseitige Verbindung neue Körper sich bilden. In ähnlicher Weise finden sich Berührungspunkte mit dem aristotelischen System, indem SENNERT die „Form", durch deren Hinzutritt die Materie zum Unterschiedenen[301] wird, auch in den Atomen unverändert bleiben läßt, da die Form an sich weder Größe noch Teilbarkeit besitzt. Interessant ist der experimentelle Beweis, den er für diese Ansicht liefert. In einer Legierung von Gold und Silber sind die Atome aufs innigste verbunden, trotzdem behalten sowohl Gold- als auch Silberatome ihre Form bei, das heißt, sie bleiben auch innerhalb der Legierung Gold und Silber, denn beim Auflösen in Salpetersäure bleibt das Gold in Pulverform zurück, während das Silber, wie es in seiner Natur gelegen ist, aufgelöst wird. Durch das Zusammenströmen der Atome können nun die scheinbar verschiedensten Körper entstehen. Diese rein mechanische Naturauffassung wird nun mit der aristotelischen derart verbunden, daß nicht der Zusammenfluß der Atome an sich, sondern der Einfluß ihrer „Formen" als das Mittel betont wird, welches die Vereinigung hervorruft. Je nachdem es nun in der Natur der „Formen" liegt, ziehen die Atome einander an, wobei Gott die „Formen" so eingerichtet hat, daß sie die Atome passend in den Verbindungen ordnen. Mit vollem Nachdruck müssen wir hervorheben, daß nach SENNERT alle Veränderungen der Körper nur dadurch entstehen, daß fremde Atome an

[300] atomi igneae, aëreae, aqueae, terreae. — [301] Siehe Seite 60.

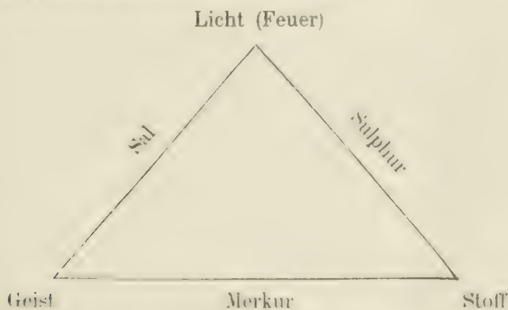
der Zusammensetzung sich beteiligen. So ist die Erwärmung des Wassers eine Folge des Zuströmens von Feueratomen. Alle qualitativen Wandlungen sind somit auf quantitative zurückgeführt, auf Bewegung und Lagenveränderung der Stoffminima. Tritt so innerhalb des SENNERT'schen Eklektizismus[302] die mechanische Naturauffassung einerseits deutlich hervor, so hebt sich andererseits diese Auffassungsweise vom Hintergrund der aristotelischen Teleologie ab, da ja tatsächlich die von Gottes Allweisheit begründeten „Formen" der Atome, das heißt die in der Natur wirkenden Kräfte und Eigenschaften, die Elemente zusammenordnen, somit allem Naturgeschehen zugrunde liegen.

Eine der besten Früchte dieses eklektischen Systems war die atomistische Erklärungsweise der Aggregatzustände. Beruht die Entstehung von Exhalationen und Dämpfen auf dem Auseinandertreten von Atomen, so ist die Kondensation der entgegengegengesetzte Prozeß, die Wiedervereinigung der Atome. Die Wolken bestehen aus Tausenden von Myriaden der Atome, welche sich zu Regen und Schnee vereinigen. Die Elementarteile behalten in allen Aggregatzuständen ihre Eigenart bei, denn wenn das Wasser verdampft, so verwandelt es sich nicht etwa in Luft, sondern es stößt eigene Dämpfe aus, ebenso wie der Weingeist Weingeistdämpfe, das Quecksilber Quecksilberdämpfe aussendet. Aus diesen Anschauungen SENNERT's über die Entstehung der verschiedenen Aggregatzustände läßt sich der Schluß ziehen, daß er die Unverwandelbarkeit der Elemente als feststehend erachtet. Wir bezeichneten die Idee von der Unverwandelbarkeit der Elemente, wie sie sich mit der Erweiterung empirischer Kenntnisse allmählich Bahn bricht, als eine der wichtigsten Phasen im Kampfe gegen die antike Naturauffassung. Mit der Erfassung dieser Idee ist die oberste Forderung aller Naturwissenschaft: mitten im Wechsel der Erscheinungswelt an Bleibendes anknüpfen zu können, der Verwirklichung zugeführt. Mit dem Anbruch der Periode mechanisch-kausaler Naturerklärung wird diese Grundauffassung dem neuen Gedankenkreise in der Art angepaßt, daß die Unverwandelbarkeit der Elemente in die Kor-

[302] Jene Richtung, welche aus verschiedenen Systemen das als wahr erscheinende auswählt, um daraus einen Zusammenhang zu konstruieren.

puskeln verlegt wird. In allen Aggregatzuständen behalten die atoma corpuscula SENNERT's ihre Eigenart bei, so daß alle Veränderung auf verschiedene Zusammenlagerung von unveränderlichen Stoffteilchen zurückgeführt ist. So wird alsbald auch auf chemischem Boden der Grundpfeiler der modernen Naturwissenschaft errichtet: die Voraussetzung, daß alles Naturgeschehen seinem Wesen nach bloße Bewegung von Stoffpartikelchen sei.

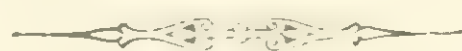
An dieser Stelle sei nun schließlich ein Werk genannt, welches ein wundervolles Abbild der naturwissenschaftlichen Ideen seiner Zeit widerspiegelt, ein Abbild, in welchem sich deutlich die Züge der Stofflehren eines PARACELSUS und eines SENNERT kreuzen. Es ist die „Physica" des großen Pädagogen und Pansophen JOHANN AMOS COMENIUS (KOMENSKY).[303] Die sichtbare Welt, so lehrt COMENIUS, ruht einerseits auf den drei „sichtbaren Prinzipien", das sind der passive Stoff (materia), der Geist (spiritus) und das aktive Licht (lux oder auch Feuer), andererseits auf den drei sogenannten „substanzbildenden Qualitäten" (qualitates substantificae), und zwar: Merkur (Aquositas = Wässrigkeit), Sulphur (Oleositas = Öligkeit) und Sal (Consistentia = Festigkeit). Von dem Ausströmen der substantificae qualitates aus den Prinzipien gibt nun COMENIUS folgendes schematische Bild:



Die Ecken des Dreiecks sind somit die drei Prinzipien, die Seiten die substanzbildenden Qualitäten. Folgende Erläuterungen il-

[303] COMENIUS wurde 1592 zu Ungarisch-Brod in Mähren geboren und starb 1670 zu Amsterdam. Er war der letzte Bischof der älteren Gemeinde der „Böhmisch-mährischen Brüder". Vergl. zum folgenden: STRUNZ: Die Mineralienkunde des JOHANN AMOS COMENIUS [1592 bis 1670] und ihre Grundlagen." Janus, 15. April 1902.

lustrieren den tieferen Sinn dieses graphischen Schemas: Geist und Stoff, im Anfang eng miteinander vereinigt, erzeugten Bewegung und Unruhe der Wässer, im selben Maße ist auch der Merkur keineswegs etwas anders Geartetes als Bewegung; daher auch die Qualitätsvorstellung der aquositas. Des weiteren ist die Trockenheit, Kälte und Inkorruptibilität des Geistes und des Feuers den Eigenschaften des Sal gleichkommend: das Sal bleibt im Feuer beständig, und nur durch Wasser oder Quecksilber wird Lösung erreicht. Endlich ist aber der Sulfur die mit Feuer durchmischte materia; darum erfreut sich die letztere an der Flamme, weil sie verwandter Natur ist. Der Sulfur ist in den zusammengesetzten Dingen das primum combustibile (brennbare) seu inflammabile (entflammende). Die Dreieckseiten stellen somit die gegenseitigen Wirkungssphären und Wirkungsrichtungen der drei genannten „Prinzipien“ vor, aus denen die „substanzbildenden Qualitäten“ hervorgehen, welch letztere die Grundlage aller Gestaltungen in den Körpern vorstellen. Eine jede dieser „substanzbildenden Qualitäten“ entstand somit aus der Durchmischung der „Prinzipien“. Von diesen drei „Prinzipien“ und den drei „substanzbildenden Qualitäten“ leiten sich nun die Arten der Dinge ab, und zwar erstlich die vier Elemente: Äther, Luft, Wasser und Erde. Als bemerkenswert mag festgehalten werden, daß Merkur, Sulfur und Sal nicht im eigentlichen rein chemischen Sinne als „substanzbildende Qualitäten“ genannt sind und somit ihres überlieferten Charakters als stoffliche Bestandteile der Körper bereits entkleidet erscheinen.



Die Korpuskulartheorie ROBERT BOYLES im Zusammenhange mit den Systemen GASSENDIS und DESCARTES'.

Der fruchtbare Eklektizismus SENNERT's erwarb sich im reichlichen Maße die Sympathien der konservativen wissenschaftlichen Kreise Deutschlands, deren akademische Ausbildung noch vielfach im aristotelischen Ideenkreise sich vollzogen hatte. Unterdessen reifte im britischen Inselreiche das Genie heran, welches berufen war, nach dem völligen Bruch mit der aristotelischen Tradition und ihrem Nebenläufer: der Lehre von den drei Prinzipien, die Fundamente zur Chemie der kommenden Jahrhunderte zu legen. Es ist ROBERT BOYLE (1626—1691). Mit seinem Lebenswerke ist der Kampf gegen die aristotelische Naturauffassung zugunsten klarer, korpuskular-mechanischer Auffassung in der Chemie entschieden. Der große Gedanke, der sich in HELMONT's Werke leise regt, da er die Umwandlung des Wassers in „Vapor" und „Gas" verfolgt[304], der bei SENNERT dem Schatten aristotelischer Anschauungsweise noch nicht entronnen ist, der Genius des großen Briten läßt ihn zur Reife gedeihen und durchleuchtet ihn mit der Klarheit ausgezeichneter, empirischer Forschung. Das verdienstliche Streben SENNERT's, seine Korpuskularlehre mit dem chemischen Experimente zu begründen, findet sich im großen Maßstabe bei dem britischen Genie vor. In BOYLE's Persönlichkeit paart sich ein kräftiger Haß gegen alles scholastische Scheinwissen mit der lebhaften Freude an der experimentellen Forschung. Auf dem reich bebauten Felde chemisch-experimenteller Erfahrung erwächst ihm seine Korpuskulartheorie.

Die Betrachtung des BOYLE'schen Lebenswerkes, des ersehnten Wendepunktes unserer Wissenschaft, den die Geistes-

---

304 Siehe S. 134 ff.

und Forschungsarbeit eines PARACELSUS, eines HELMONT und eines SENNERT, im Vereine mit der Tätigkeit einer Reihe anderer Talente, vorbereitete, darf nicht der Darlegung jener gewichtigen Beziehungen ermangeln, welche BOYLE mit den Geistesströmungen des Kontinentes innig verbanden. Unter all den Autoren, welche gegen ARISTOTELES streiten, preist er vor allem GASSENDI[305], dessen Kompendium der Philosophie EPIKUR's ihm den größten Gewinn gebracht habe. GASSENDI's Wirken fällt in jene Zeit, da die Autorität des ARISTOTELES bereits ziemlich verblaßt ist. GASSENDI selbst hatte in einer Schrift voll Jugendkraft gegen das System des Stagiriten einen Sturmlauf unternommen. Im reiferen Alter hatte er das schmählich verunglimpfte Andenken EPIKUR's[306] durch Wiedererweckung seiner Philosophie, insbesondere der Atomistik, mit neuem Glanze belebt. Die Herausgabe der Schriften GASSENDI's über EPIKUR beginnt mit dem Jahre 1647. Wenige Jahre vorher hatte der 77jährige GALILEI seine müden Augen geschlossen (1641). GASSENDI[307] ist vom Geiste der induktiven Epoche GALILEI's mächtig erfüllt. So erscheint uns seine Anknüpfung an die antike Atomistik viel weniger als historischer Zufall, denn als kontinuierliches Glied in jener Kette von Bestrebungen, welche das europäische Denken der Errichtung neuer Grundlagen der Naturauffassung zuwandte. Wir haben seiner Zeit den Begriff vom leeren Raum als einen der wichtigsten Angriffspunkte im Kampfe des Stagiriten gegen die LEUKIPP-DEMOKRIT'sche Atomistik[308] kennen gelernt. ARISTOTELES verwirft die Annahme des leeren Raumes vollends.[309] Im Systeme GASSENDI's ist die Existenz des leeren Raumes die oberste Voraussetzung, zugleich das wesentlichste Unterscheidungszeichen von allen bisherigen Korpuskularlehren. Aus zahllosen Zwischenräumen, Gängen oder Poren, die ob ihrer Kleinheit innerhalb der Körper der sinnlichen Wahrnehmung sich entziehen, besteht der leere Raum. Zahlreiche physikalische Tatsachen sprechen für seine notwendige Existenz, vor allem die Verdichtung und

[305] Siehe S. 80 u. S. 126. — [306] Siehe S. 40 ff. — [307] Über GASSENDI siehe: SCHALLER: Geschichte der Naturphilosophie von BACO VON VERULAM bis auf unsere Zeit, I 113 ff. ferner LANGE: Geschichte des Materialismus S. 184 ff. sowie LASSWITZ a. a. O. II/126 ff. — [308] Siehe S. 38 ff. — [309] Siehe S. 79.

Verdünnung der Körper. Die bekannten Erscheinungen des Zusammendrückens und der Ausdehnung der Luft wären ohne die Existenz von Poren, welche ein Zusammenrücken und Auseinandertreten der Teilchen gestatten, nicht denkbar. Wasser, welches bis zum Maximum mit Steinsalz gesättigt ist, nimmt dessenungeachtet noch weiter Alaun auf, eine Erscheinung von doppelter Bedeutung, da sie nicht nur das Vorhandensein leerer Intervalle, sondern auch deren eigenartige und verschiedene Gestalt beweist. Gassendi erlebt die freudige Genugtuung, den leeren Raum mit Hülfe einer Quecksilbersäule experimentell hergestellt zu sehen, denn 1643 hatte Viviani zu Florenz den bekannten, klassischen Versuch durchgeführt, dessen nähere Anordnung Toricelli angegeben hatte. Gassendi widmet dem neuen Experimente eine eigene Abhandlung, in welcher der Widerstand der Luft, dessen Grenze durch die Verteilung der Korpuskeln und Zwischenräume innerhalb der Luft unverrückbar ist, als Ursache für das Verbleiben der konstant hohen Quecksilbersäule im Rohre bezeichnet wird. Zwar ist der Raum oberhalb des Quecksilbers, wenn auch nur im unmerklich kleinen Anteile, mit Körperlichem erfüllt, so mit dem Licht, wie mit den Korpuskeln der Wärme und der Kälte, und denjenigen, welche die magnetischen Wirkungen vermitteln; immerhin ist er aber die Verwirklichung einer Verdünnung im höchsten Maße, und je größer die Unterschiede in den Dichtigkeiten der Körper, desto schwieriger ist es, diese Unterschiede ohne Zuhülfenahme leerer Zwischenräume zu erklären.

Als das Unerzeugbare, Unzerstörbare und Unveränderliche von Anfang an betrachtet Gassendi eine erste Materie, als dasjenige, was sich nicht weiter in anderes auflösen läßt. So führt die fortschreitende Zerlegung des Menschen zu dessen Gliedern, deren Teilen, den Säften und schließlich zu der Nahrung, aus der sich die letzteren bilden. Jedoch auch die Nahrung ist noch weiters in die Elemente Erde, Wasser etc., und diese schließlich in die drei Grundbestandteile Mercurius, Sulfur und Sal auflösbar. Im letzten Ende sind jedoch auch diese Grundbestandteile in Atome aufzulösen. Erst die Atome sind die endgültigen Ergebnisse aller Zerlegung. Zeigt die Natur tatsächlich

eine Zerlegbarkeit in äußerst kleine Teile, dann müssen diese Teilchen ihrerseits nicht weiter zerlegbar sein, da sonst das Ende der Auflösung nicht abzusehen wäre, die Natur jedoch das Etwas nicht in das Nichts aufzulösen vermag. Diese Grenzsteine aller Zerlegung, die Atome, bilden die prima materia, das materielle Prinzip, das unveränderlich ist, so daß der Grundsatz gilt: Aus nichts kann nichts geschaffen werden, und nichts kann in nichts verwandelt werden. Die Atome unterscheiden sich durch ihre Größe, ihre Gestalt und ihre Schwere. Die Schwere der Atome ist die ihnen von Gott mitgegebene Kraft, sich unablässig zu bewegen und in allen Richtungen zusammenzutreffen. Allem Wechsel in den Eigenschaften der Körper liegt die Bewegung der Atome zugrunde. Denn an die drei Eigenschaften der Atome: Größe, Gestalt und Schwere, reihen sich Ordnung und Lage, Eigenschaften, welche auf das Zusammensein der Atome Bezug haben. Der bloße Lagewechsel der Atome kann eine Quelle neuer Qualitäten sein. Durch Mischung von Flüssigkeiten entstehen Färbungen und Wärme, obzwar diese Eigenschaften den Komponenten der Mischung ursprünglich nicht zu eigen waren. Wohl als das wertvollste Ergebnis des GASSENDI'schen Systems mag uns die Einführung des Begriffes der Molekel erscheinen. Wie die Buchstaben die Elemente der Schrift sind, und wie aus ihnen erst Silben, dann Wörter, Sätze, Reden und Bücher bestehen, so sind die Atome die Elemente der Dinge, und sie verknüpfen sich vorerst zu den feinsten und kleinsten Konkretionen oder Molekeln (moleculae), und alsdann zu immer größeren und größeren Körpern, bis zu den allergrößten. Welche reiche Fruchtbarkeit sollte dieser Begriff in der modernen Chemie entfalten, seit er mit den ersten Kenntnissen über die Verbindungsverhältnisse der Gase unentbehrlich geworden war![310]

Entbehrt auch das System GASSENDI's in seinem engen Anschluß an die antike Atomistik der unbedingten Originalität, so muß es uns nichtsdestoweniger als kühne, schöpferische Tat ersten Ranges erscheinen, da es durch seine entschiedene Betonung des leeren Raumes, durch das Entgegensetzen des absolut Leeren und des absolut Vollen, (der bewegten Korpuskeln), auf eine

[310] Siehe die beiden folgenden Kapitel.

anschauliche Darstellung jener Fülle von empirischen Tatsachen abzielte, welche die aufblühende Physik so reichlich zutage förderte. Indem die rein mechanische Bewegung der Korpuskeln zum Untergrunde aller qualitativen Formen gestempelt wird, scheint uns das System GASSENDI's, des französischen Physikers und Propstes von Digne wie der Entwurf zu jener rein mechanischen Weltauffassung in ihrer einheitlichen Großzügigkeit, welche sich dem Geiste DESCARTES' offenbaren sollte.

Im Systeme GASSENDI's versinnbildlicht sich die Wiedererweckung jenes Geisteswerkes, welches der Genius LEUKIPP-DEMOKRIT's vor zwei Jahrtausenden geschaffen hatte. Den Schatz, welcher darin verborgen lag, sollte das Genie ROBERT BOYLE's heben und ihn zum Fundamente jener Wissenschaft machen, deren Aufblühen ihm vor allem am Herzen lag: der Chemie. Jene Bahn, welche PARACELSUS einschlug, da er kühnen Schrittes den Bannkreis aristotelischer Naturauffassung übertrat, und die nun BOYLE weiterschreitet, wird aber nicht nur vom Lichte des GASSENDI'schen Werkes erhellt, auch die Gestalt DESCARTES (1596—1650) kreuzt diese Bahn. Denn der Name DESCARTES prangt in der Reihe jener erlesenen Männer, deren Gedanken und Bestrebungen BOYLE, nach eigenem Urteile, so viel verdankt. Neben unserer kurzen Betrachtung des GASSENDI'schen Systemes möge daher auch eine flüchtige Skizzierung der Korpuskularlehre im DESCARTES'schen Gedankenbaue die Vorstufe zu unserem Verständnisse der BOYLE'schen Naturauffassung bilden. DESCARTES[311] nennt Substanz[312] dasjenige, was zu seinem Bestehen keines anderen Dinges bedarf; demnach ist zunächst Gott die einzige Substanz; unter allem Geschaffenen aber gibt es zwei Dinge, welche zu ihrem Dasein keines anderen bedürfen als Gottes Beistand: es sind die körperliche und die denkende Substanz. Die Natur der körperlichen Substanz wird gebildet durch die Ausdehnung in die Länge, Breite und Tiefe. Die sinnlichen Eigenschaften, die wir an den Körpern zu beobachten vermögen, wie Härte, Gewicht oder Farbe, gehören nicht zur Natur der Körper[313],

[311] DESCARTES: Die Prinzipien der Philosophie, herausgegeben von KIRCHMANN Philosoph. Bibliothek. Band 26. S. 25 ff. Über DESCARTES siehe auch: SCHALLER a. a. O. I 220 ff. — [312] Vergl. S. 7 ff. — [313] DESCARTES: Prinzipien, a. a. O. S. 44.

sondern zum Wesen unserer Vorstellung. Denn wenn bei der Bewegung unserer Hände die Körper mit der gleichen Schnelligkeit zurückweichen, mit welcher sich unsere Hände vorwärtsbewegen, so würden wir keine Härte fühlen; die zurückweichenden Körper jedoch würden deshalb keineswegs die Natur eines Körpers verlieren. In ähnlicher Weise bliebe der Körper vorhanden, wenn die Schwere, die Farbe und alle ähnlichen Eigenschaften, die in dem körperlichen Stoff wahrgenommen werden, daraus beseitigt würden. Somit ist die Natur des Körpers von keiner dieser Eigenschaften, sondern ausschließlich nur von seiner Ausdehnung in die Länge, Breite und Tiefe bedingt. Die räumliche Ausdehnung ist das Wesen des Körpers, die räumliche Ausdehnung ist Substanz. Sachlich ist der Raum und die in ihm enthaltene körperliche Substanz verschieden, aber nur nach der Art unserer Vorstellungsweise; denn in Wahrheit ist die Ausdehnung in die Länge, Breite und Tiefe, welche den Raum ausmacht, auch das Wesen des Körpers. Der Unterschied liegt nur darin, daß wir diese Ausdehnung im Körper als etwas Besonderes betrachten und die Annahme treffen, sie verändere sich so oft, als der Körper wechselt, während wir dem Raume eine allgemeine Einheit geben, so daß mit dem Wechsel des ihn erfüllenden Körpers doch kein Wechsel in der Ausdehnung des Raumes angenommen wird; er gilt vielmehr für ein und denselben, so lange seine Gestalt und Größe bleibt. Aus dieser Identität der räumlichen und der körperlichen Ausdehnung ergeben sich nun zwei gewichtige Schlußfolgerungen. Fürs erste folgt unmittelbar, daß es kein Leeres, kein Vakuum gibt. Denn da man schon aus der Ausdehnung der Körper in die Länge, Breite und Tiefe richtig folgert, daß er eine Substanz ist, weil dem Nichts unmöglich Ausdehnung zukommt, so muß derselbe Schluß auch von dem vermeintlich leeren Raum gelten; da eine Ausdehnung in ihm ist, muß notwendig auch eine Substanz in ihm sein.[314] Fürs zweite erkennen wir die Unmöglichkeit, daß ein Atom oder Stoffteil seiner Natur nach unteilbar sei: Wenn es Atome gibt, müssen sie ausgedehnt sein, und mögen sie auch noch so klein gedacht werden, so können wir dennoch das einzelne Atom in Gedanken

[314] a. a. O. S. 53 ff.

weiter teilen und daraus mit Recht auf seine Teilbarkeit schließen. Denn was in Gedanken geteilt werden kann, ist auch teilbar; wollten wir demnach das Atom für unteilbar halten, so widerspräche dies unserer eigenen Erkenntnis. Ja selbst wenn wir annehmen, Gott habe bewirken wollen, daß gewisse Teile des Stoffes nicht weiter geteilt werden können, so würde man diese Teile doch nicht eigentlich unteilbar nennen können. Denn wenn auch Gottes Geschöpfe diese Teilung selbst nicht zu vollziehen vermögen, so könnte sich Gott selbst die Macht zu dieser Teilung nicht nehmen[315], weil es unmöglich ist, daß er seine eigene Macht selbst vermindern sollte. Der Stoff bleibt demnach im unbeschränkten Sinne teilbar, weil seine Natur so beschaffen ist. In der ganzen Welt gibt es nur ein und denselben Stoff, der allein daran erkannt wird, daß er ausgedehnt ist. Woraus entspringt somit ein Unterschied zwischen den einzelnen Körpern, oder wodurch differenziert sich die ausgedehnte körperliche Substanz zu den einzelnen sinnenfälligen Körpern? Alle an dem einzigen, ausgedehnten Stoffe klar erkannten Eigenschaften, lehrt DESCARTES, müssen sich daraus herleiten lassen, daß er teilbar, in seinen Teilen beweglich und deshalb aller der Zustände fähig ist, welche aus der Bewegung seiner Teile folgen. Alle Mannigfaltigkeit oder aller Unterschied seiner Gestalten hängt von der Bewegung ab. Es gibt keine andere Veränderung als die räumliche Bewegung der verschiedenen Teile der ausgedehnten Substanz; im letzten Grunde müssen daher alle physikalischen Erklärungen auf diese Bewegung zurückgeführt werden. Die allgemeine Ursache[316] der Bewegung kann offenbar keine andere als Gott sein, welcher die Materie zugleich mit der Bewegung und der Ruhe im Anfang erschaffen hat, und der durch seinen gewöhnlichen Beistand soviel Bewegung und Ruhe im Ganzen erhält, als er damals schuf. Denn ist auch diese Bewegung nur ein Zustand an der bewegten Materie, so bildet sie dennoch eine feste und bestimmte Menge, welche durchaus in der ganzen Welt zusammen die gleiche zu bleiben vermag, wenngleich sie sich auch bei den einzelnen Teilen verändert. Bewegt sich ein Teil von einer bestimmten Größe doppelt so schnell als ein zweiter,

[315] a. a. O. S. 56 ff. — [316] a. a. O. S. 66 ff.

welcher dagegen die doppelte Größe des ersteren besitzt, so ist doch ebensoviel Bewegung im kleinen wie im großen Teile; um so viel als die Bewegung eines Teiles langsamer wird, muß die Bewegung eines anderen Teiles von gleicher Größe wachsen. Im Prinzipe schließen diese Thesen den Satz von der Erhaltung des Stoffes ein und verkünden die Lehre von der Erhaltung der Bewegung in vollkommen bestimmten Ausdrücken. Deutlich gelangt das Streben nach quantitativer Auffassung des Naturgeschehens und Zurückführung aller Qualitäten auf mathematisch darstellbare Beziehungen zum Ausdrucke.

DESCARTES, der Begründer der analytischen Geometrie, der erfolgreiche Empiriker auf dem Gebiete der Physik, weiß nun trotz seiner Verwerfung des leeren Raumes und des „unteilbaren" Atoms die Hülfsmittel der Atomistik den Zwecken seiner Welterklärung dienstbar zu machen. Die rasch anschwellenden naturwissenschaftlichen Errungenschaften seiner Tage erfüllen seinen Geist; die zahlreichen korpuskularen Ideen, wie sie namentlich durch SENNERT's und GASSENDI's Anstoß die wissenschaftliche Welt bewegen, bieten ihm reichliche Anregung. Im Jahre 1628 erscheint das Werk HARVEY's, in welchem die Entdeckung des Blutkreislaufes veröffentlicht wird. Die Möglichkeit der Übertragung mechanischer Naturauffassung sogar auf physiologische Erscheinungen war dadurch in Sicht gerückt. Diese letztere Entdeckung, sowie DESCARTES eigene mathematische und physikalische Entdeckungen beeinflussen ihn bei der Ausgestaltung seiner mechanischen Grundanschauungen in durchgreifender Weise. Wie geht nun DESCARTES zu Werke, um die glänzenden Erkenntnismittel der Atomistik dem Rüstzeuge seiner Philosophie einzuverleiben? Er zerlegt die gesamte körperliche Ausdehnung in Teile, welche gegeneinander abgegrenzt sind, indem sie sich bewegen. Denn nur die Bewegung, die Verschiebung von Raumteilen bestimmt die Körpergrenzen; nur wo zwei verschiedene Bewegungen aneinander grenzen, liegt auch die Grenze des Körpers, finden sich verschiedene Teile des Stoffes vor. Zwei gleichartig bewegte Raumteile bilden einen einzigen ruhenden Teil des Stoffes, sie sind voneinander nicht zu unterscheiden und müssen zusammenfließen. Die Einführung der Bewegung als des Mittels

zur Differenzierung des Stoffes räumt somit die Schwierigkeit der Vorstellung aus dem Wege, daß eine korpuskular abgeteilte Materie den Raum stetig erfüllen könne, denn sind die Teilchen in Ruhe und von einerlei Art, dann können sie nur solche Gestalt besitzen, daß ihre Figuren den Raum völlig erfüllen. DESCARTES erteilt jedoch den Korpuskeln sofort eine Wirbelbewegung, in deren Verlaufe sie sich durch gegenseitige Reibung nicht nur abrunden, sondern auch äußerst feine Teilchen absplittern, welche sich mit ungeheurer Geschwindigkeit bewegen und in jedem Augenblicke ihre Gestalt verändern können, womit ein Stoff geschaffen ist, dessen Teile bei äußerster Feinheit die schnellste Bewegung haben und geeignet sind, alle Poren zu durchdringen.[317] Gleichzeitig entstehen durch Zusammenballung gröbere Massen von relativ langsamer Bewegung. Die Entstehung dreierlei Arten von Materie umfaßt der weite Rahmen dieser Hypothese. Zur ersten Art, dem Feuerelement, dem Sonnenstoff, gehören die äußerst feinen Teilchen endloser Zersplitterung, denen keinerlei feste Größe und Figur zu eigen ist, und welche jeden Raum zwischen den Korpuskeln der beiden anderen Arten der Materie: dem Luftelement und dem Erdelement auszufüllen vermögen. Das Luftelement, der Himmelsstoff, besteht aus jenen Korpuskeln, welche durch Reibung Kugelgestalt erlangt haben, während sich das Erdelement, der Planetenstoff, aus gröberen Teilchen verschiedener Gestalt, die wenig zur Bewegung taugen, zusammensetzt. Keines der Teilchen dieser drei Arten der Materie besitzt irgendwelche Qualitäten außer Größe, Gestalt und Bewegung.

Die Genesis der drei DESCARTES'schen Elemente aus einer gleichförmigen Urmaterie läßt sich unter der einzigen Voraussetzung begreifen, daß Gott den Partikeln des Urstoffes Bewegung im Schöpfungsakte mitgab. Inwiefern nun DESCARTES die Wirbelbewegung dieser Elemente zu Stützen seiner Kosmologie ausbildet, wie er mit Hülfe dieser Elemente in umfassender Weise physikalische und chemische Erscheinungen deutet, all dies eingehend zu schildern, wäre zu weitführend. Nur einzelne Momente der DESCARTES'schen Erklärungsweise mögen festgehalten werden. Vor allem der fundamentale Unterschied des Festen und des

[317] a. a. O. S. 106 ff.

Flüssigen[318], welcher darin beruht, daß die Teilchen der festen Körper untereinander ruhen, die der flüssigen dagegen in einer dauernden Bewegung nach den verschiedensten Richtungen hin begriffen sind, so daß sie sich gegenseitig leicht verschieben können. Zweierlei Art ist der Ursprung der spezifischen Eigenschaften der verschiedenen Körper. Vorerst fließen alle besonderen Körperqualitäten aus der Vermischung der Körperteilchen dritten Elementes, der Erdstoffteilchen, mit Teilchen des Himmels- und des Feuerstoffes[319], dann aber stehen sie in enger Abhängigkeit von den mannigfach geformten Gestalten der Partikeln, von denen die einen gleichsam verschiedene Arme besitzen und sich wie Bäume oder ähnliches ausdehnen, während die anderen fester sind und Bruchstücken verschiedenster Form, vom Würfel bis zur Kugel, gleichen, und schließlich die letzten, länglich und ohne Zweige, Stäbchen bilden. Die Luft[320] ist eine Anhäufung von feinen Teilchen des dritten Elementes, die von Himmelsstoffteilchen umgeben sind, deren Bewegungen die ersteren folgen. Wasser setzt sich aus zwei Arten von Teilchen des dritten Elementes zusammen, aus stärkeren Teilchen, die steif sind, und aus dünneren, welche durch eine äußerste Biegsamkeit ausgezeichnet sind. Feuer kommt in Form der Flamme zustande[321], indem Erdstoffteilchen jeder Gestalt und Größe, einzeln und getrennt, den Bewegungen der Feuerstoffteilchen folgen, von denen sie umgeben sind, nachdem durch irgendeinen geeigneten Umstand der Himmelsstoff aus den Poren des Körpers vertrieben wurde. Nehmen die Himmelskügelchen am Orte des Feuers die vom ersten Element verlassenen Zwischenräume wieder ein, so verlischt das Feuer. Licht und Wärme, Schwere und Elastizität der Körper erlangen ihre Deutung auf gleicher Basis, ebenso das Verhalten verschiedener Stoffe zum Feuer, indem beispielsweise die Zwischenräume[322] unter den äußerst verzweigten, dünnen Alkoholteilchen so eng sind, daß nur Feuerstoffteilchen darin einzudringen vermögen, worauf die Entzündung beruht, während das Wasser dem Feuer sehr entgegen ist, da es nicht bloß aus dickeren, sondern auch weicheren und klebrigen Teilchen besteht, welche stetig von Luftstoffkügelchen

[318] a. a. O. S. 76 ff. — [319] a. a. O. S. 190 ff. — [320] a. a. O. S. 197 ff. — [321] a. a. O. S. 211 ff. — [322] a. a. O. S. 222/23.

umgeben sind. Die Willkürlichkeit, mit welcher die Gestalt der Teilchen abzuändern ist, erweist sich im allgemeinen als äußerst vielseitiges und geschmeidiges Hülfsmittel zur Erklärung physikalischer und chemischer Erscheinungen, sowie der Eigenschaften der Körper. Die drei Elemente der Chemiker, Salz, Schwefel und Merkur, besitzen verschieden gestaltete Partikeln. Sind die Partikeln des Salzes scharf und schneidig, so sind jene des Schwefels äußerst weich und biegsam, während die Partikeln des Merkurs von runder Form sind.[323] Die verschiedenartigsten physikalisch-chemischen Vorgänge, Schmelzen und Sieden, Austrocknen und Verhärten, Verdunsten, Verkalken und Verglasen, werden durch den Tanz der Teilchen erklärt.[324] So schmilzt der Körper, wenn die Teilchen sich leicht voneinander trennen, dabei können sie von Feuerstoff- oder Luftstoffteilchen gänzlich umhüllt werden, die Körper werden heiß und siedend, Feuer oder Luftbildung geht vor sich und so fort. Der Begriff des chemischen Individuums ist bei Descartes kaum angedeutet; in den zusammengesetzten Körpern sind die Teilchen der einfachen nur gemischt, nicht aber zu selbständigen Gruppen geordnet, so daß der Begriff der Molekel, wie er bei Gassendi zur Geltung gelangt, gänzlich fehlt.

Das Gemälde einer Welt bewegter Teilchen, eines Naturgeschehens, das im lückenlosen Mechanismus abläuft, hat Descartes in großen Zügen ausgeführt. Von der Höhe seiner Weltanschauung, die ihm wie aus einem Guß geformt schien, sah er durch die emsige Forschung seiner Tage den einzelnen Zweigen der Naturwissenschaft reichlich Ergebnisse entsprießen, die sich mühelos in den Rahmen seines Systemes einfügen ließen. Eines dieser Ergebnisse nannten wir vorhin: die Entdeckung des Blutkreislaufes durch Harvey. Weitere zu nennen ist hier nicht der Ort, ebenso nicht jene physikalischen Sätze Descartes', welche den kommenden Zeiten Stand hielten, und welche als unrichtig beseitigt wurden.

Der zweitausendjährige Gedanke Leukipp-Demokrit's pulsiert in den Werken Gassendi's und Descartes' in unverwüstlicher Kraft weiter. Ihm fehlt zwar noch jene Vertiefung, der allein seine schöpferische Fruchtbarkeit innerhalb der täglich sich

[323] a. a. O. S. 203/04. — [324] a. a. O. S. 228 ff.

erweiternden physikalischen Empirie entquoll[325]; doch ist die Naturphilosophie DESCARTES' jener Versuch einer rein mechanischen Naturerklärung großen Stiles, wie er zum erstenmale seit dem Werke LEUKIPP-DEMOKRIT's auftritt. Der teleologischen Naturauffassung[326], der Voraussetzung eines zweckvollen Waltens durch das Gesamtbereich des Naturgeschehens hindurch, wie sie bekanntlich im Systeme PLATO's und ARISTOTELES' zur höchsten Ausbildung gelangt, erwächst im DESCARTES'schen Weltbilde der diametrale Gegensatz des neuen Naturbegriffes umwälzenden Charakters, des Begriffes der mechanischen Kausalität[327] im Naturgeschehen. Mit der „modernen", das heißt der mechanischen Naturauffassung, ist auch jene Theorie der Natur unvereinbar, wie sie PARACELSUS und HELMONT entwickeln, jene Theorie, die in Anlehnung an die neuplatonische Idee von der Weltseele, die Natur als einen Organismus betrachtet, dessen Teile von einer schöpferischen Kraft innerlich beseelt sind. Die rein mechanische Naturerklärung erschüttert jedoch auch das religiöse Bewußtsein, welches von der Voraussetzung eines zweckvollen Weltregimentes erfüllt ist. Glauben und Wissen nun innerhalb einer umfassenden und lückenlosen Weltanschauung zu versöhnen, ist das Sinnen und Trachten jenes großen Mannes, in dessen tief religiösem, melancholischem Gemüte das Studium der Naturwissenschaften Zweifel an dem geoffenbarten Glauben entfacht hat: die Versöhnung von Religion und Naturwissenschaft innerhalb eines einheitlichen Weltbildes ist das große Ziel ROBERT BOYLE's. BOYLE deutet immerhin die Natur in ihrem gesamten Zusammenhange als einen kosmischen oder Weltmechanismus, dessen Teile, die Körper, nach mechanischen Bewegungsgesetzen aufeinander einwirken; und im einzelnen bedeutet ihm die Natur individuellen Körpermechanismus, ein Zusammentreffen mechanischer Wirkungen wahrnehmbarer oder unwahrnehmbarer Teilchen, das die Eigenart des Einzelkörpers bestimmt. Aber die physische Welt, wie auch der einzelne lebende Organismus und der Körper des Menschen gleichen einem Uhrwerk, dessen intelligenter Urheber die mechanischen Gesetze bestimmt hat, welche seinen Gesamtlauf beherrschen. So

[325] Siehe S. 80. — [326] Siehe S. 29. — [327] Siehe S. 28 ff. und S. 76.



ROBERT BOYLE.

Reproduziert nach dem Titelbilde (Kupferstich) zu: The W o r k s Of The Honourable ROBERT BOYLE. In six Volumes. To which is prefixed The Life of the A u t h o r. London MDCCLXXII. (Unter dem Bildnisse in der Mitte: The Honourable ROBERT BOYLE. Links J. KERSSEBOOM pinxit. Rechts B. BARON sculp.)

begründet Boyle seine teleologische Naturauffassung auf rein mechanischer Basis. Bevor Gott den Plan zur Schöpfung einer Welt faßte, wie es die unsrige ist, teilte er die Materie, die er geschaffen hatte, in eine unendliche Anzahl äußerst vielgestaltiger Korpuskeln. Er verband dieselben zu einem solchen Gefüge (textures), den Einzelkörpern, und verlieh diesen derartige Stellungen und Bewegungen, daß jene Erscheinungen, die nach seiner Absicht im Universum auftreten sollten, nunmehr regelrecht durch die notwendige Wirkung der Körper ablaufen, seinen Fügungen oder Gesetzen gemäß.[28] Festgegründete, mechanische Prinzipien, von Gott geschaffen, regeln somit die Tätigkeit der Einzelglieder des Weltalls.

Eine einzige, allgemeine, ausgedehnte Materie[29], teilbar und undurchdringlich, ist allen Körpern zu eigen. Ihre Gleichartigkeit und Einheit ist durch räumliche Bewegung differenziert, indem durch dieselbe Teile innerhalb der Urmaterie (Korpuskeln, Partikeln, minima oder prima naturalia) unterschieden und getrennt werden. Wie es durch die Erfahrung und vorzüglich durch die chemischen Operationen einleuchtet, schreitet diese Teilung bis zu außerordentlich geringfügigen Bruchstücken vor, welche meistens viel zu klein sind, um einzeln durch unsere Sinne wahrgenommen zu werden. Ebenso wie jedem Einzelkörper, welcher durch die Vereinigung einer Anzahl dieser Teilchen entsteht, bestimmte Größe und Gestalt zu eigen sind, ebenso muß auch ein jedes dieser Teilchen seine bestimmte Größe und seine eigene Gestalt besitzen. Und diese drei nun: Größe, Gestalt und Bewegung (resp. Ruhe), sind die drei Grundzustände der sinnlich nicht wahrnehmbaren Teile der Materie. Alle wahrnehmbaren Eigenschaften sind nichts anderes als die Wirkungen dieser drei Grundzustände der Materie. Indem die Körper Korpuskeln aussenden oder den Sinnesorganen Bewegung mitteilen, rufen sie Eindrücke hervor, welche mit verschiedenen

[28] The Works of the honourable Robert Boyle. London 1772. Of the Usefulness of Natural Philosophy. W. II/39. Die folgenden Zitate beziehen sich sämtlich auf diese Ausgabe. Über Boyle siehe namentlich Lange a. a. O. S. 217 ff., Lasswitz a. a. O. II 261 ff. und Kopp, Beiträge a. a. O. III/162 ff. — [29] The Origin of Forms and Qualities, W. III/15 und 35 ff.

Namen, wie Hitze, Farbe, Klang, Geruch, bezeichnet werden. Aus den grundlegendsten und einfachsten Zuständen der Materie, der räumlichen Bewegung (der Ruhe), der Größe und der Gestalt der Partikeln, ergeben sich noch andere, wenn auch nicht universelle, so doch äußerst fruchtbare Prinzipien der Körperqualitäten und anderer Naturerscheinungen.[330] Wie größere Bruchstücke der Materie, so besitzen auch die Korpuskeln oder Partikeln eine gewisse örtliche Beziehung zu anderen Körpern, woraus das erste dieser abgeleiteten Prinzipien: die *Lage oder Stellung* der Partikeln (aufrecht, geneigt, horizontal und so fort), resultiert. Ferner besitzen die Teilchen der Materie eine gewisse *Ordnung und Reihenfolge* unter sich, sowie eine bestimmte Art des Zusammenseins in den Körpern, welche Art wir *Textur* oder mit einem umfassenderen Ausdruck: *Modifikation* nennen. Durch die Regellosigkeit und die Unterschiede in ihrer Gestaltung lassen die Partikeln in den Körpern die *Poren* frei; einige Körper weisen Partikeln auf, welche ob ihrer verschwindenden Geringfügigkeit und geringen Adhäsion durch das Feuer oder durch andere Agentien leicht von der übrigen Gesamtheit der Partikeln zu scheiden sind, wodurch eine Menge von Körpern Ausströmungen (emanations) entsendet, welche wir *Effluvien* nennen. Die einfachen Korpuskeln sind von Natur aus geeignet, sich zu dauerhaften und schwer lösbaren Gruppen zusammenzufügen, welche *primäre Konkretionen, Büschel* (clusters of particles) oder auch *kleine Massen genannt werden mögen.*[331] Verbleiben diese Korpuskelgruppen auch, einzeln genommen, unterhalb der Grenze der Sinneswahrnehmung, so bilden sie dennoch die eigentlichen Grundbestandteile der verschiedenen Gattungen von Naturkörpern (wie Erde, Wasser, Salz und so fort), indem sie in ihrer weiteren Vereinigung untereinander schließlich die Fähigkeit erlangen, die Sinne zu beeinflussen. Diese primären Konkretionen sind der *unmittelbare Ursprung* (seeds or immediate principles) der Körper, sie sind die ersten Elemente der Dinge, denn aus ihrer

[330] The History of Particular Qualities, W. III,297 ff. — [331] a. a. O. W. III,298, ferner The Origin of Forms and Qualities, W. III,30 und The Sceptical Chymist, W. I,475.

Vereinigung gehen die zusammengesetzten Körper hervor. Indem nun diese letzteren selbst untereinander sich vermischen, können sie zu Bestandteilen abermals zusammengesetzter Körper werden, wodurch der Weg gewiesen ist, auf welchem die Natur Materie verändert; wir nennen diesen Weg: Mischung oder Zusammensetzung. Die „Mischung" setzt stets die Ungleichheit ihrer Komponenten voraus, wodurch sie sich von der „Textur" unterscheidet. Zu den bisher aufgezählten Prinzipien, durch deren Ineinanderwirken die unendliche Mannigfaltigkeit der Sinnenwelt entsteht, gesellt sich die räumliche Bewegung der Korpuskeln wie der Körper als weitere Quelle unerschöpflicher Verschiedenheit der Dinge. In einer unendlichen Abstufung von Intensitätsgraden vermag die räumliche Bewegung nach den verschiedensten Richtungen hin geradlinig zu verlaufen, sie vermag krummlinig in den verschiedensten Kurven zu erfolgen, fortschreitend, rotatorisch, undulatorisch und so fort.

Boyle's Korpuskulartheorie verfügt jedoch über eine ganz besonders wirksame Kategorie von Hülfsmitteln zur Erklärung des Naturgeschehens. Es sind die bereits genannten Effluvien, Ausströmungen, Ausdünstungen der Körper. Aus den feinsten und beweglichsten Teilchen zusammengesetzt, bilden sie die Vermittler der Körperwelt. In unendlicher Zahl und Geschwindigkeit dringen sie in die Poren der Körper ein, unter Entfaltung einer erstaunlichen Wirksamkeit, die auf der gegenseitigen Bewegung der Teile beruht, welche sie in dem Körper nach Maßgabe seiner Struktur erregen, wobei die Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung ihrer Gestalt und Größe mit den Poren der Körper, auf welche sie einwirken, in Frage kommt.[332] Mit der ausführlichsten Gründlichkeit verbreitet sich Boyle über die absonderliche Feinheit, die kräftige Wirksamkeit und die bestimmte Natur der Effluvien. Eine ausgedehnte Zahl von Experimenten und Beobachtungen aller Art werden für die Existenz dieser Effluvien ins Treffen geführt. Daß flüssige Körper intensive Ausdünstungen entsenden, kann ohne Schwierigkeit zugegeben werden[333]; jedoch auch Körper von festem und dichtem

[332] Of the Great Efficacy of Effluviums, W. III 677 ff., Cosmical Suspicions, W. III 316 ff. — [333] Of the Atmospheres of Consistent Bodies, W. III 278 ff.

Gefüge, tierischer, pflanzlicher oder mineralischer Natur strömen Effluvien aus. Zahlreiche exakte Beobachtungen mittels der Wage erhärten diese letztere Tatsache. In dem einen Falle erfährt ein Stück Eis durch eine frostige Winternacht hindurch eine beträchtliche Verminderung seines Gewichtes, ohne auch nur im mindesten aufgetaut zu sein; in einem anderen Falle weist ein Stück Ambra, größer als eine Walnuß, in 3½ Tagen keinerlei Gewichtsverminderung auf, obgleich sein Duft einen beträchtlichen Raum erfüllt, und ein Klumpen Assa foetida zeigt in 5½ Tagen, trotz der übelduftenden Ausdünstung, keine bemerkbare Abnahme seines Gewichtes.[334] Aus der Zahl der übrigen Beobachtungen sei der Hinweis auf das Gold und das Silber hervorgehoben, welche Metalle sich in ihrer staunenswerten Ausdehnbarkeit zu wundersam feinen Teilen formen lassen, die, dem Auge kaum sichtbar, dennoch den Tastsinn anregen[335], und ähnliches weist der ausgesponnene Kokonseidenfaden auf. Und schließlich sei jenes Experiment genannt, „für welches die Chemiker dankbar sein werden": eingehende Verdünnungsversuche beweisen, daß eine ammoniakalische Kupferlösung noch merklich blau gefärbt erscheint, wenn sie auch nur den 28534. Teil ihres Gewichtes an färbender Substanz enthält, und dem Volumen nach berechnet, betrifft dieses färbende Minimum gar nur den 256806. Teil an bläuendem Prinzip. Vermag eine derartig winzige Menge an Materie ihre Wirkung in einem Raume zu entfalten, gegen dessen Größe ihre eigene verschwindet, dann können nur Effluvien von außerordentlichem, räumlichem Erstreckungsvermögen Träger dieser Wirkung sein. Legt ja die feine Witterung der Hunde deutliches Zeugnis von der Fähigkeit der Effluvien ab, in riesiger Raumausdehnung langandauernd die Sinne zu affizieren. (Die Idee von den Effluvien findet sich, wie erinnerlich, bereits durch EMPEDOKLES[336] vorgezeichnet. Die Effluvien sind das Agens, welches die Veränderungen in der Natur erklärlich machen soll. Wir erkennen in den Effluvien die „modernen" Abkömmlinge der merkurialischen Weltseele, die in der alexandrinischen Alchemie unter dem Einflusse neuplatonischer

[334] Of the Strange Subtility of Effluviums, W. III/672. — [335] a. a. O., S. 662 ff. — [336] Siehe S. 37.

und stoischer Philosophie auftaucht, um bis auf Pseudo-Basilius in Form des spiritualischen, allbelebenden Merkurs den alchemistischen Ideenkreis zu beherrschen. In der weiteren Folge werden die Effluvien bei Newton durch die fernewirkenden Kräfte abgelöst, zu denen sich der Äther gesellt, welcher Träger der Licht- und der elektrischen Erscheinungen wird, um in jüngster Zeit im Sinne der Theorie von dem Atomzerfalle, wie er den radioaktiven Erscheinungen zugrunde liegt, an der Konstitution des Stoffes selbst Teil zu nehmen.[337])

Der entschiedene Einfluß, welchen die Korpuskularphilosophie den Kontinentes auf Boyle's Denken und wissenschaftliches Fühlen nimmt, tritt deutlich zutage. Boyle verabsäumt nicht, die Namen aller jener ausgezeichneten und besonders jener „modernen Autoren" zu nennen, welche freimütig die Physik des Aristoteles bekämpfen, wie Descartes, Helmont und eine Reihe anderer Gelehrter, deren Gedanken und Beweisgründe er benützt habe; in erster Linie jedoch sei es Gassendi's kleines, aber scharfsinniges „Syntagma Philosophiae Epicuri", das für ihn von größtem Nutzen war. In Boyle's Absicht liege es jedoch vielmehr, Experimente und Fragen vorzubringen, um ungeklärte Dinge aufzuhellen, als voreilige Behauptungen kühn über diese hinzustellen.[338] Das Ideal, welches Boyle vorschwebt und in seinen Schriften deutlich laut wird, ist, nur als Physiker und nichts anderes, seine Korpuskularlehre mit ihrem ausgeprägt mechanischen Charakter (jedoch von jedwedem Schatten einer gottesleugnerischen Konsequenz völlig frei) auf einer möglichst breiten Basis von experimentellem Material zu fundieren. In erster Linie ist es die Chemie, dann die Physik und die Medizin, aus welchen Wissenszweigen ihm eine Fülle von Beispielen als sicherste Beweise und verläßlichste Stützen seiner korpuskularen Auffassung des Naturgeschehens entgegenströmen. Ja die Existenzmöglichkeit der Chemie als eines Zweiges der Naturwissenschaft ist ihm schlankwegs nur durch die Korpuskulartheorie gewährleistet. Ihr Neuaufschwung, befreit von „der Unwissenheit, der Vermessenheit und den Betrügereien" der allzu vielen

[337] Siehe das Kapitel: Die Auffassung von der elektronischen Struktur des Stoffes. — [338] Origines of Forms and Qualities, Proemial Discourse, W. III 9 ff.

von jenen, die da behaupten, in der Chemie bewandert zu sein, fesselt vornehmlich sein wissenschaftliches Interesse. Das Wissen der Menschheit von den Werken der Natur zu bereichern, desgleichen ihre Macht über die Natur zu fördern, das Streben nach einem derartigen Ziele und nicht die Suche nach dem Elixier, so bekennt BOYLE[339], liegt seinen eigenen chemischen Versuchen zugrunde. Daher dünkt es ihm nicht genügend darzulegen, wie die Einsicht in die Chemie die Fähigkeit verleihe, einige Vervollkommnungen (ausdrücklich nicht Transmutationen) an mineralischen und metallischen Körpern vorzunehmen und mannigfache vortreffliche Heilmittel zum Wohle der Menschheit zu bereiten, neben vielen anderen Verfertigungen, welche in besonderen Gewerbszweigen und in so manchen Zufällen des Menschenlebens von gutem Nutzen wären; chemische Experimente dünken BOYLE vielmehr als „äußerst förderlich dem spekulativen Naturphilosophen (Naturalist) in seinen Betrachtungen und seinen Erwägungen". Die vielfachen Auswüchse der Alchemie des 16. und 17. Jahrhunderts liefern genügend Erklärung für die Bemerkung BOYLE's, daß die Chemie seit kurzem, so wie sie es auch verdiene, von jenen Gelehrten betrieben werde, welche sie früher verachteten. Dadurch seien verschiedene Begriffe der Chemiker über philosophische Dinge von ausgezeichneten Schriftstellern, sowohl naturphilosophischer als auch medizinischer Richtung, adoptiert und angewandt worden. Nicht unzeitgemäß sei jedoch die Warnung vor der großen Doktrin der Chemiker, der Doktrin von den drei hypothetischen Prinzipien[340]; in der Natur seien Tausende von Dingen, nebst einer Vielzahl von Vorgängen im menschlichen Körper, welche kaum von jenen klar und erschöpfend erklärt werden könnten, welche sich darauf beschränken, die Dinge vom Sal, Sulfur und Mercurius abzuleiten, ohne ihr Augenmerk mehr den Bewegungen und Formen der kleinen Teile der Materie und anderen ergebnisreicheren Zuständen der Körper zuzuwenden.

BOYLE, der gewiegte Empiriker voll skeptischer Tiefgründigkeit, hatte den alchemistischen Standpunkt entschiedenst überwunden, daß das Feuer allein das wirksamste Agens zur Zer-

---

[339] Some Specimens of an Attempt to make Chymical Experiments etc. Preface. W. I 354 ff. — [340] The Sceptical Chymist, Preface Introductory, W. I 458 ff.

legung der Körper sei und vom Körper Stoffe abtrenne, welche als Elemente in diesem Körper in derselben Form präexistierten, in der sie sich nach vollzogener Abtrennung darbieten. Seiner scharfen Beobachtungsgabe war es nicht entgangen, daß das Feuer je nach den Graden und der Zeit des Erhitzens der betreffenden Körper, je nach Vornahme der Operation bei freiem Luftzatritt oder im geschlossenen Destillationskolben, durchwegs verschiedene Stoffe ausscheide, welche überdies keineswegs homogen sein müssen. Eine Reihe gründlicher Versuche führt BOYLE zu dem Schlusse[341], daß „das Feuer kein ursprüngliches und universelles Zerlegungsmittel (universal analyzer) aller zusammengesetzten Körper bilde“, denn es seien in Wirklichkeit noch andere Wege als die eingewurzelte Analyse durch das Feuer vorhanden, um von einem zusammengesetzten Körper ebenso homogene Stoffe abzuscheiden, als es jene sind, welche die Chemiker ohne Bedenken zu ihren „tria prima“ rechnen, wie die drei Prinzipien kurzerhand bezeichnet werden. Durch die Hinzufügung geeigneter Stoffe kann die Zerlegung von Körpern durchgeführt werden, wie sie durch das Feuer allein nicht zuwege kam. Das Feuer trennt Gold und Silber sehr leicht[342], wenn es in seiner Wirkung durch Salpetersäure unterstützt wird, aus Schwefelantimon ist gewöhnlicher Schwefel zu erzielen, wenn das Erhitzen bei Gegenwart von Vitriolöl vorgenommen wird, Ammonsalze, welche durch mehrere Sublimationen hindurch sich unversehrt erhalten, werden durch Erhitzen mit Alkalisalzen zerlegt, die Sublimation des Quecksilbers aus seinen Verbindungen verläuft bei Gegenwart alkalischer Stoffe viel leichter und so fort. Die Natur verwende sogar ganz andere Werkzeuge als das Feuer allein, um bestimmte Stoffe aus zusammengesetzten Körpern abzuscheiden. Die Sonnenstrahlen verflüchten den entzündlichen Geist aus dem Weine, und aus einem unverschlossenen Gefäße, mit Harn gefüllt, entweicht gleicherweise der aktive und durchdringende spiritus, wenn es durch einige Wochen in einen Düngerhaufen versenkt bleibt. Selbst wenn das Feuer einen Körper in Stoffe verschiedenen Bestandes zerlege, scheidet es ihn nicht in die drei hypothetischen Prinzipien, sondern es ordnet seine

[341] The Sceptical Chymist a. a. O. S. 487 u. S. 547. — [342] a. a. O. S. 482 ff.

Teile in einem neuen Gefüge (texture) zusammen und ruft so tatsächlich neue Bildungen hervor, welche jedoch noch immer zusammengesetzter Natur sind. Die Substanzen, welche die Chemiker gewohnt sind, als Sal, Sulfur und Mercurius der Körper zu benennen, seien keineswegs so rein und so elementar, als die Chemiker wähnen und ihre Hypothese es erfordern würde. Schließlich müsse in Erwägung gezogen werden, ob das zur Unterstützung des Feuers hinzugefügte Agens lediglich bloß die Abscheidung des betreffenden Stoffes befördere, oder ob nicht eine neue Verbindung zwischen den Teilen des der Einwirkung unterliegenden Körpers und dem mitwirkenden Agens sich vollziehe. Je nach der Methode der Einwirkung, je nach der Natur des hinzugefügten Hülfsagens, resultieren aus einem und demselben komplexen Körper verschiedene Abscheidungsprodukte, verschieden von jenen, welche durch die Wirkung des Feuers allein hervorgebracht wurden. Es ist nicht so sicher, wie sowohl die Chemiker als auch die Aristoteliker glauben — so läßt sich BOYLE ausdrücklich vernehmen —[343], daß jede scheinbar gleichartige oder auch wirklich bestimmte Substanz, die durch Hülfe des Feuers vom Körper abgeschieden wurde, in diesem als Prinzip oder Element präexistierte. Damit wolle er nicht der Meinung Ausdruck geben, daß ein Ding nicht materiell in jenem Körper präexistiert habe, aus welchem es durch das Feuer abgeschieden wurde; denn es überschreite weitaus die Kraft eines bloß natürlichen Agens auch nur soviel als ein Atom der Materie neu zu erschaffen, da es dieses bloß verändern könne. Aber, ohne eine Ungereimtheit hierdurch zu begehen, müsse es bezweifelt werden, daß die Stoffe, welche aus einem Zusammengesetzten durch das Feuer ausgeschieden werden, in diesem Zusammengesetzten in jener Form existierten, in welcher wir sie nach vollzogener Analyse vorfinden. Und wären selbst die durch das Feuer abgeschiedenen Stoffe die Komponenten des zusammengesetzten Körpers, so ist doch ihre Anzahl nicht die gleiche für alle Körper komplexer Natur: einige seien in drei, andere in noch mehr als drei derartiger Komponenten zu zerlegen; in der überwiegenden Zahl der Fälle sind schließlich derartige abgeschiedene Stoffe

[343] a. a. O. S. 493 u. 547.

nicht reine und elementare Körper, sondern neue Arten von Mischungen. Ebensowenig als die „tria prima“ der chemischen Praxis mit ihren zwingenden Schlüssen Stand haben können, ebensowenig vermögen die Chemiker durch irgend eines der „tria prima“ selbst jene Eigenschaften zu erklären, welche sie den „tria prima“ als primäre zuschreiben und bezüglich der zusammengesetzten Körper aus den „tria prima“ ableiten. So ist der Troß der Chemiker gewohnt, die Farben dem Merkur zuzuschreiben[344]; Paracelsus schreibt sie an verschiedenen Stellen dem Sal zu, und Sennert („ein Autor, den ich hoch schätze“, bemerkt Boyle) dem Sulfur. Doch wie die Farben von einem dieser Prinzipien abstammen könnten, hat noch keiner verstandesgemäß erklärt. Nun lasse es aber die Wirkung des Prismas klar erkennen, daß die Körper ihre Farben nicht nach dem Vorwalten dieses oder jenes Prinzipes darbieten, sondern gemäß ihrer Textur und namentlich der Beschaffenheit ihrer Oberfläche. Ohne die prismatische Gestalt kann das Glas niemals jenes anmutige Farbenspiel aufweisen; und wären dies auch nur scheinbare und nicht wirkliche Farben, so seien immer noch jene wirklichen und andauernden Farben wider die Chemiker ins Feld zu führen, wie solche an den Metallen zu erzielen sind. Quecksilber kann durch Feuer allein seiner Silberfarbe beraubt und in einen roten Körper verwandelt werden, aus welchem es des weiteren wieder hell und glänzend abzuscheiden sei. In diesem Falle sei eine dauernde Farbe erzeugt und wieder zerstört worden, ohne Hinzugabe oder Wegnahme weder des Merkurs, noch des Sulfurs, noch des Sal. Auf der Oberfläche eines klaren, dünnen Stahlstückes erscheinen in kurzer Entfernung von einer Kerzenflamme verschiedene Farben wie gelb, rot und blau, so daß ein und derselbe Körper mannigfache Farben in einer Minute erkennen läßt. Niemals wird es jenen gelingen, die Erscheinungen der Natur zu erklären, die da von dem Bestreben erfüllt sind, diese Erscheinungen einzig und allein aus dem Vorhandensein und dem Mengenverhältnisse dieser oder jener stofflichen Bestandteile abzuleiten und diese Bestandteile oder Elemente als Körper im Zustande der Ruhe aufzufassen; wogegen in Wirklichkeit der

[344] a. a. O. S. 556.

größte Teil der Zustände der Materie und infolgedessen auch der Erscheinungen der Natur, allem Anscheine nach von der Bewegung und der Aufeinanderwirkung der kleinen Teile der Körper abhängig ist.

Neben dieser entschiedenen Verwerfung der überlieferten „tria prima", vollzieht sich nun die Ausprägung des neuen Begriffes vom chemischen Elemente im Geiste der korpuskularen Weltauffassung BOYLE's. Der Weg zu dem positiven Elementbegriffe führt wiederum an den glücklichen Erfolgen der ausgezeichneten Empirie BOYLE's vorbei. Gleich mühevolle als staunenswert exakte Versuche zur Redintegration oder Reproduktion der Stoffe, das heißt zum Wiederaufbau des Stoffes aus jenen Bestandteilen, in welche er durch die Analyse eben zerlegt worden ist, fesseln das Interesse BOYLE's in hervorragendem Maße. Die Redintegration (oder Reproduktion) eines analysierten Körpers, so dieselbe genau und tatsächlich vollbracht ist, wird ihr Licht über so manche Punkte in der Philosophie ergießen und sicherlich den Anhängern der atomistischen Hypothese hoch willkommen sein[345], so bemerkt BOYLE im Verlaufe seiner Darlegungen über die Synthese des Salpeters aus seinem basischen und seinem sauren Bestandteil. BOYLE kristallisiert den käuflichen Salpeter um[346] und unterwirft ihn einem genügend langen Schmelzflusse unter sukzessivem Zusatze von Kohlenstückchen, so daß jeder flüchtige Anteil ausgetrieben wird. Den Rückstand, den „fixen Salpeter" (fixed nitre) teilt er in zwei Teile, löst den einen in möglichst wenig Wasser, tropft Salpetersäure (spirit of salt-petre) hinzu, bis das Aufkochen ausbleibt, und versetzt den anderen Teil direkt mit Tropfen von Salpetersäure, bis das Aufzischen versagt. Im ersteren Falle vermag er nach wenigen Stunden das Anschießen der Salpeterkristalle zu beobachten, im zweiten bietet sich ihm sofort die Salpetermasse kristallinisch dar. Unter anderen synthetischen Versuchen, „in denen mehr Schwierigkeiten zu finden sind, als man erwarten würde", bezeichnet BOYLE die Redintegration des

[345] A Physico-chymical Essay, containing an Experiment, with some Considerations touching the differing Parts and Redintegration of Salt-Petre. W. I 372. — [346] a. a. O. S. 360 ff.

Terpentins als den gelungensten.[347] Er destilliert Terpentin in einer Glasretorte und löst den Rückstand in dem Destillate auf, die sich beide so wohl vereinigen, „daß nach dem Geruche, dem Geschmacke und der Konsistenz kaum jemand das Ganze für etwas anderes als vortrefflichen Terpentin halten würde". Neben den synthetischen Versuchen ist noch aus chemischen Experimenten anderer Art der Beweis für die Existenz gewisser Stoffe zu schöpfen, denen ein wahrhaftig elementarer Charakter mit weitaus mehr Berechtigung zuzuerkennen ist, als den Elementen des ARISTOTELES oder der Alchemisten. Durch den Wandel vielfältiger chemischer Prozesse hindurch erhalten mancherlei Stoffe ihre Natur nach jeder Richtung hin unversehrt. Gold liefert in seiner Verschmelzung mit Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Antimon, Eisenerz (Regulus Martis) und vielen anderen Mineralien Körper, welche sowohl von dem Golde als auch ihrem anderen Bestandteile weit abweichen. Jedoch mit Hülfe des gewöhnlichen Königswassers und anderer Lösungsmittel kann jenes Gold, welches in diesen verschiedenen zusammengesetzten Körpern verkleidet vorliegt, in derselben Gewichtsmenge als das gleiche gelbe, schwere, fixe und dehnsame Gold zurückgewonnen werden, wie es sich vor dem Eintritt in die Verbindung darbot. Und nicht nur das fixeste aller Metalle, das Gold, sondern auch das flüchtigste, das Quecksilber, vermag aus seinen „exotischen Verbindungen" mit den verschiedensten Metallen, Säuren, Salzen und dem Schwefel, als das gleiche leicht bewegliche Quecksilber zurückgewonnen werden, wie es eben in diesen verschiedenen Zusammensetzungen verborgen lag.[348] Wird Kupfer in Salpetersäure aufgelöst, dann kann durch Kristallisation der Lösung ein trefflicher Vitriol erhalten werden. In diesem Vitriol, der ersichtlich in seinem Wesen weitaus von den Eigenschaften seiner Komponenten abweicht, behält der Salpetergeist (the nitrous spirits) seine frühere Natur bei. Denn die Destillation dieses Vitriols liefert eine Menge roter Dämpfe, welche sich durch ihre Farbe, ihren eigentümlichen Geruch und ihren sauren Geschmack als Salpetergeist zu erkennen geben, während der restierende

[347] Origin of Forms and Qualities. W. III 65. — [348] Sceptical Chymist. W. I 475.

Metallkalk Kupfer enthält.[349] In ähnlicher Weise betont BOYLE mit Nachdruck die Erhaltung der Korpuskeln des Ammoniaks und der Salzsäure in dem Salmiak, wie es die Destillation des Salmiaks mit Alkalien beweise.[350] Diese Erscheinungen führen uns die Tatsache vor Augen, daß bestimmte primäre Massen oder Gruppen unzerstört bleiben, dessenungeachtet sie in die verschiedensten Zusammensetzungen eingehen. Diese Gruppen müssen noch immerhin nicht die primären Konkretionen der allerkleinsten Teile der Materie sein. So beteiligen sich die Korpuskeln des Goldes und des Silbers, von BOYLE ausdrücklich: „offenbar gemischte Körper" (confessedly mixed bodies)[351] genannt, im reichlichen Maße an dem Aufbau zahlreicher Körper verschiedenster Art, wobei weder ihre ursprüngliche Natur noch ihr Gefüge (texture) zugrunde geht, noch ihr Zusammenhalt durch die Abtrennung von jenen Komponenten verletzt wird, mit denen sie in den verschiedensten Körpern verbunden waren. Wird nun die Annahme getroffen, daß Korpuskeln zusammengesetzten Wesens in den landläufigen Beispielen der Chemiker als Elemente zu gelten haben, dann ist immerhin der Gedanke nicht unzulässig, daß es gewisse Agentien von so eindringender Kraft gebe, um diese zusammengesetzten Korpuskeln in noch einfachere zu teilen. Die Zahl der bestimmten Stoffe, in welche komplexe Körper bislang zerlegt worden sind, wäre hierdurch vermehrt. BOYLE illustriert diese Vorstellung von einem weiteren Abbau der Elemente an einem naheliegenden Analogiefalle: dem Feuer ist nicht die Macht zuteil, Gold und Silber in ihrer Legierung voneinander zu scheiden, doch was dem Feuer nicht beschieden ist, vollbringt die Salpetersäure oder das Königswasser.[352] In der Natur mögen sich Agentien vorfinden, denen durch die Größe und die Gestalt ihrer Teile ein weit besserer Zusammenhalt mit den Teilen der nur scheinbar elementaren Korpuskeln gewährleistet ist[353]; Agentien dieser Art vermögen daher die Textur der einzelnen Korpuskeln zu zerstören. Jedoch die Zerstörung derartiger Korpuskelgefüge müsse noch immer nicht zur Entdeckung der elementarsten Teile der Dinge führen, denn hierbei entstehen neue

[349] a. a. O. S. 507. — [350] a. a. O. S. 572. — [351] a. a. O. S. 476. — [352] a. a. O. S. 515. — [353] a. a. O. S. 579.

Körper durch Verbindung der Teile des zerstörenden Agens mit jenen des zerstörten Körpers. Überdies ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß eine vorgeblich elementare Korpuskel unter dem Einflusse kraftvoller Agentien, auch ohne Scheidung ihrer Teile, eine Veränderung ihrer Natur durch bloße Bildung einer neuen Textur erleidet. Inwiefern Anschauungen dieser Art zur theoretischen Basis der Metalltransmutation werden, ist schon bei früherer Gelegenheit erwähnt worden.[354] Der Idee von der Möglichkeit der Metallveredlung stellen sich ihrem Wesen nach BOYLE's Anschauungen über das Wasser zur Seite, denen noch der Charakter alchemistischer Tradition inne wohnt. Denn Wasser, ein elementarer Körper, „der homogener ist als alle anderen irdischen Körper", kann durch eine Umänderung der Textur seiner Teile den Aufbau von Körpern ermöglichen, deren Eigenschaften von den seinen überaus weit abweichen. So kann Wasser in die Pflanzensubstanz transmutiert werden; den Beweis hierfür liefert die Gewichtszunahme von Pflanzen, welche mit der Wurzel in bloßes Wasser eingesetzt werden.[355] Der Transmutation des Wassers in Erde speziell widmet BOYLE eingehende Versuche und Erwägungen.[356]

Was den Namen ROBERT BOYLE mit dem Anbruch einer neuen Ära in unserer Wissenschaft für immerwährende Zeiten verknüpft, haben unsere Darlegungen in einer flüchtigen Skizze eines Teiles aus dem Lebenswerke des großen Forscher-Philosophen festzuhalten versucht. Indem BOYLE den Geistesstrom der zeitgenössischen Korpuskularphilosophie des Festlandes auf das Feld spezifisch chemischen Forschens lenkt, vernichtet er die „tria prima" der alchemistischen Tradition, die phantasievollen Ausgeburten einer unvollkommenen Empirie. An ihre

[354] Siehe S. 86. — [355] Origin of Forms and Qualities, W. III/69 ff. Im Sceptical Chymist W. I/494 ff. beschreibt BOYLE einen analogen Versuch, wie ihn HELMONT mit einem Weidenzweige ausführt (Siehe S. 143). Zum Teil werden nach BOYLE die Pflanzen dadurch ernährt, daß Regenwasser ihnen Nährstoffe, aus der Erde gelöst, zuführt; jedoch liefern die Kulturversuche im reinen Wasser den untrüglichen Beweis für die Assimilation und Transmutation des Wassers im Pflanzenleibe, umsomehr als eine Unmenge Wassers verdampft werden muß, um nur eine einzige Unze eines salzigen oder erdigen Glührückstandes zu gewinnen. — [356] Origin of Forms and Qualities, W. III/102 ff.

Stelle setzt er alsbald den Begriff des chemischen Elementes als eines relativen Begriffes, dessen Gestaltung von den Methoden und den praktischen Hülfsmitteln der Chemie abhängig ist. Der chemische Elementbegriff, wie er aus dem Geiste der glänzenden Empirie BOYLE's geboren wird, ist der ökonomische Ausdruck für die Grenzen der analytischen Methoden jener Zeiten, und in diesem Charakteristikum erschöpft sich bekanntlich ebenso der chemische Elementbegriff unserer Tage. BOYLE verläßt die fest eingewurzelte Vorstellung vom Feuer als dem kräftigsten Agens zur Zerlegung der Körper und läßt die Reagiermethode im Verlaufe seiner Experimente in den Vordergrund treten, das heißt er sucht die Stoffe an den Erscheinungen zu erkennen, welche sie infolge der chemischen Wechselwirkung mit anderen Stoffen von bekannten Eigenschaften, den Reagentien, darbieten. BOYLE weiß überdies die Reihe der Merkmale des Elementes, welche durch diese fruchtbarste Methode der analytischen Chemie festzustellen ist, dadurch zu vermehren, daß er die Bestimmung des spezifischen Gewichtes zur Erkennung der Körper heranzieht.[357]

Diese frühe Ausbildung des chemischen Elementbegriffes ist eine der vielen historischen Tatsachen, aus denen hell hervorleuchtet, daß die Chemie unter allen Zweigen der Naturwissenschaft durch die schärfste Ausprägung der Induktion[358] sich hervortut. Daher ist auch das wichtigste vorbereitende Hülfsmittel der Induktion, die Analyse, nicht nur das klarste und exakteste Teilgebiet der chemischen Praxis, sie ist auch historisch die erste Methode chemischer Forschung, welche zur durchgreifenden Ausbildung gelangte. In gleichem Range steht ihr die Synthese zur Seite, wenn deren Ausbildung auch durchgehends jüngeren Datums ist. Das Schwergewicht chemischer Forschung liegt vorerst in dem Studium der stofflichen Eigenschaften des chemischkomplexen Naturkörpers, wobei die Frage nach seiner Zusammensetzung aus einfacheren Bestandteilen an die Spitze rückt. Insoweit nun der Chemie in der Vorzeit ihrer exakt wissenschaft-

[357] Medicina Hydrostatica, or Hydrostatics applied to the Materia Medica. Shewing, how by the Weight that divers Bodies used in Physik have in Water, one may discover whether they be genuine or adulterate, etc. W. V/453 ff. — [358] Näheres siehe WUNDT: Logik, Band II 1 S. 468: Die Logik der Chemie.

lichen Forschung die Aufgabe zufällt, ihren empirischen Anteil zur Lösung des Stoffproblems beizutragen, bildet die Analyse der Körper zwar den Mittelpunkt aller Forschungsarbeit, jedoch getrübt durch die aristotelische Überlieferung der Verwandlungsfähigkeit von Stoffen und durch die Begleiterscheinungen des glänzenden Phänomens der Verbrennung geblendet. Diese Betrachtungen vermögen das Verdienst, welches sich BOYLE um die chemische Forschung erwarb, von einer neuen Seite zu beleuchten. Er stellt der chemischen Forschung das bestimmte Ziel hin: die Elementarbestandteile der Körper zu ermitteln, wodurch er zum eigentlichen Schöpfer der analytischen Chemie als einer exakten Wissenschaft wird. Der sicherste Weg ist, so läßt sich BOYLE vernehmen[359], durch besondere Experimente in Erfahrung zu bringen, aus welchen verschiedenen Teilen die einzelnen Körper sich zusammensetzen, und durch welche Methoden sie am besten und geeignetsten zerlegt werden.[360]

---

[359] The Sceptical Chymist, W. I/585. — [360] Im Anhange zur Darlegung der Lehren BOYLE's sei auch der Name des Hamburgischen Gelehrten JUNGIUS (1587 bis 1657) erwähnt. Seine Diktate, Früchte der Lehrtätigkeit am Hamburgischen Gymnasium, deren endgiltige Redaktion unmöglich später als 1629—31 erfolgt ist, sowie seine Abhandlungen über die Grundbestandteile der Naturkörper aus dem Jahre 1642 enthalten „im wesentlichen schon die Gedanken, um derentwillen ROBERT BOYLE's 1661 erschienener Sceptical Chymist als für die Chemie epochemachend betrachtet wird.“ (Siehe die treffliche und eingehende Studie E. WOHLWILL's: JOACHIM JUNGIUS und die Erneuerung atomistischer Lehren im 17. Jahrhunderte. Band X. der Abhandlungen aus dem Gebiete der Naturwissenschaften. Hamburg 1887). JUNGIUS' atomistische Lehre hat mehr den fragmentarischen Charakter gelegentlicher Äußerungen als den eines zusammenhängenden Systems. Neben der eingehenden Berücksichtigung der Gewichtsverhältnisse bei chemischen Prozessen, sowie der Verwerfung der drei alchemistischen Prinzipien, findet sich eine Auffassung des Elementbegriffes, die an die Höhe des BOYLE'schen heranreicht. „Es folgt nicht“, sagt JUNGIUS, „daß alles was bisher nicht zerlegt werden konnte, nicht zusammengesetzt ist; denn auch das armenische Salz (Salmiak) hat bisher nicht zerlegt werden können; wenn aber etwas nicht zerlegt werden kann, von dem man nicht weiß, daß es zusammengesetzt ist, so kann dies für einen einfachen oder völlig homogenen Körper gehalten werden.“



Die Lehre von den fünf Grundsubstanzen. Die Phlogistontheorie und ihr Schicksal im Lichte der zeitgenössischen Auffassung von der Schwere. Der chemische Verbindungsbegriff.

Bevor noch Robert Boyle die drei paracelsischen Elemente auf das entschiedenste verworfen und an ihre Stelle jenen Begriff des chemischen Elementes gesetzt hatte, welcher, auf dem Boden erweiterter und reiner Empirie begründet, bis zur Stunde seine Lebenskraft bewahrt, erfuhr die Zahl der paracelsischen Elemente eine Erhöhung auf fünf. Ähnlich wie dereinst die Erweiterung der chemischen Empirie der alchemistischen Zweizahl des Mercurius und des Sulfurs das Sal als drittes Prinzip hinzufügte, liefert nunmehr die Analyse der Naturkörper Rückstände, welche als Phlegma und Caput mortuum oder Faeces benannt, mit dem Wasser und der Erde (aqua und terra) als dem vierten und fünften Elemente der Körper identifiziert werden. Sie bilden eine Art passiver Elemente zu den drei aktiven des Paracelsus. Die Annahme von fünf Grundsubstanzen taucht zuerst in den Schriften des französischen Arztes Sebastian Basso[361] auf (1621). Die chemische Zerlegung der Körper liefert nach Basso Spiritus (oder Mercurius), Oleum (oder Sulfur), Sal, Faeces (caput mortuum) und Phlegma als Teile, welche in allen Körpern in gleicher Weise vorhanden sind, obwohl man sie vorher nicht bemerkt hat. Etienne de Claves (Stephanus Clavesius oder Clavius), der 1624 zu Paris den kühnen Versuch zu unternehmen gedachte, 14 Thesen korpuskularphilosophischen Wesens gegen Aristoteles und Paracelsus öffentlich zu diskutieren[362], nennt in der fünften seiner Thesen als die fünf einfachen Körper oder Elemente: Terra, aqua, sal, sulfur (oleum), mercurius

[361] Lasswitz a. a. O. I/467. — [362] Die Ankündigung dieses Versuches rief den auf S. 80 (Fußnote) erwähnten Beschluß des französischen Parlamentes hervor.

(spiritus acidus). Diese sind für die wahren und einzig natürlichen Prinzipien zu halten, so daß sie sich weder wechselweise auseinander noch aus anderen bilden, sondern alle Komposita werden aus ihnen selbst zusammengesetzt. Alle Verschiedenheit der Dinge entsteht nur aus der quantitativen Mischung dieser fünf Prinzipien. DE CLAVES vollzieht somit als erster die Gleichsetzung von Phlegma mit Aqua und des Caput mortuums mit Terra. Die gleiche Annahme findet sich vierzig Jahre später in den Schriften WILLIS', dessen Name in der Geschichte der Verbrennungs- und Gärungstheorie genannt wird.[363] (WILLIS war Professor der Physik zu Oxford und später Arzt zu London.) In Frankreich erhielt die Lehre von den fünf Grundsubstanzen ihre Verbreitung durch die damals berühmten Lehrbücher LEFÈBRE's (Traité de chymie 1660) und LEMERY's (Cours de Chymie 1675). In Deutschland sind die hervorragendsten Namen in der Chemie jener Periode: KUNKEL, BECHER und STAHL. Die beiden ersten sind praktische Alchemisten in dem Sinne, daß sie ihr experimentelles Talent in den Dienst ihrer unerschütterlichen Überzeugung von der möglichen Metallveredlung stellen. Sie stehen in ihren vielfach unklaren Ansichten über die Grundbestandteile der Körper noch tief unter dem Einflusse überlieferter Traditionen. Von den verworrenen Darlegungen KUNKEL's abgesehen, sei aus dem vielgestaltigen Komplex von Darstellungen über die Zusammensetzung der Körper, wie er sich in den Schriften BECHER's[364] (die Physica subterranea als die wichtigste) vorfindet, nur der Gedanke wiedergegeben, daß die entfernteren Grundbestandteile aller Körper Erde und Wasser seien, aus beiden aber bilden sich als die näheren Bestandteile drei Erden: terra prima, fusilis seu lapidea, sie ist das Feuerbeständige und Verglasbare, terra secunda, pinguis, von fettiger Art ist sie der Träger der Verbrennbarkeit, terra tertia, fluida, das Flüchtige und Schmelzbare. In dem Austreten der terra pinguis liegt die Ursache der Verbrennung der Körper, eine Idee, welche in der Phlogistontheorie STAHL's alsbald festere Gestaltung annimmt. STAHL selbst schließt sich anfangs den Anschauungen BECHER's an, doch mit den ersten Jahren des 18. Jahr-

[363] KOPP, Beiträge a. a. O. III/183. — [364] a. a. O. III/202 ff.

hunderts macht er einen entschiedenen Schritt über den Horizont seines Lehrers BECHER hinaus, indem er die Brennbarkeit eines Körpers von dem Gehalt an Phlogiston, der Feuermaterie, abhängig sein läßt. Nicht das Feuer an und für sich sei in den Körpern gebunden und trete in Freiheit gesetzt als Flamme auf; in den brennbaren Körpern müsse vielmehr ein Bestandteil enthalten sein, welcher zwar zu der eigentlichsten Feuer-Bewegung am allergeschicktesten, ja dazu gleichsam beschaffen und geschaffen sei, jedoch außer aller Vermischung gar kein Feuer abgebe, sondern eher in die unsichtbare Zartheit verstäube und verfliege, oder doch nur ein weit zerteiltes, unsichtliches Feuer, nämlich die Wärme ausmache. Das Phlogiston habe die besondere Neigung, starre Verbindungen einzugehen, welche Tatsache BECHER mit seinem Ausspruch, das Prinzip der Brennbarkeit sei erdiger Natur, richtig erfaßt habe. Alle verbrennlichen Körper bestehen somit aus Phlogiston und einem unverbrennbaren Teil, im speziellen Falle dem Metallkalk, welcher durch Hinzufuhr von Phlogiston wiederum zu Metall regeneriert werden kann. Diese Regeneration ist am wirksamsten mittels Kohle durchzuführen, und in der Tat mußte ja die Kohle, ihrer hohen Verbrennlichkeit wegen, fast reines Phlogiston sein.

Die chemische Forschung des 18. Jahrhunderts steht bis in ihr vorletztes Dezennium hinein im Zeichen der Phlogistontheorie. Die Geschichte unserer Wissenschaft hat bis vor kurzem dieser Theorie gegenüber den Maßstab verständnisvoller Wahrheit vielfach vermissen lassen. Eine Theorie kann Anwendbarkeit und Fruchtbarkeit im reichlichen Maße in sich bergen — auf einer ungenügenden Entwicklungsstufe des menschlichen Geistes muß sie verdorren, ohne Nutzen gestiftet zu haben. Eine andere Theorie kann voll innerer Unwahrheit sein und dennoch in der eben erreichten Entwicklungsphase des Denkens volle Ersprießlichkeit für den weiteren Fortschritt der naturwissenschaftlichen Erkenntnis entfalten. Das Schicksal der ersteren Art von Theorien war der LEUKIPP-DEMOKRIT'schen Atomistik beschieden, das der zweiten Art teilt die Phlogistontheorie. Sie vermag keineswegs der allmählichen Emanzipation der Chemie von allen geistigen Rückständen verklungener alchemistischer und jatrochemischer

Zeiten, sowie dem Heranreifen der Chemie zum durchaus selbständigen Zweige der Naturwissenschaft irgendein unüberwindliches Hindernis in den Weg zu legen. Und daran ändert auch die Tatsache nichts, daß diese Theorie, wie es beim oberflächlichen Hinzusehen scheinen mag, Daten experimenteller Erfahrung, so die Gewichtszunahme bei der Metallverkalkung, den Phlogistikern wohlbekannt, geradezu auf den Kopf stellt. Unschwer ist in dem Phlogiston der verfeinerte Abkömmling des alchemistischen Sulfurs zu erkennen.[365] Im letzten Grunde ist das Phlogiston das Instrument zur grob-sinnlichen Deutung der Verbrennungserscheinungen: des Feuers, der Wärme, des Lichtes. Auf der Erkenntnis, daß der Vielfältigkeit der Verbrennungserscheinungen ein einziges Gemeinsame innewohne, baut sich die Lehre STAHL's auf; ihre Bedeutung erschöpft sich in der großzügigen Erfassung der rein *qualitativen* Seite des Verbrennungsprozesses, die *quantitative* Seite, die Gewichtsvermehrung, wie die Gewichtsverminderung verbrennender Stoffe, liegt als unwesentlich für die Erklärung der Verbrennung, dem Endziele der STAHL'schen Lehre, fernab. So läßt der Urheber der Phlogistontheorie des namentlichen jedwede erschöpfende Erklärung der Gewichtszunahme verkalkender Metalle in seinen Schriften vermissen. Um so dringender sehen sich die Nachfolger STAHL's, mit dem fortschreitenden Ausbau der chemischen Kenntnisse, vor die Notwendigkeit gestellt, dem Phänomen der Gewichtszunahme der Metalle durch Verkalkung, im Rahmen der herrschenden Phlogistontheorie eine ausreichende Deutung zu geben. Die Vielzahl dieser Deutungsversuche im einzelnen zu schildern, hieße die Grenzen unserer Aufgabe überschreiten. Und nur die Hülfshypothese von der negativen Schwere des Phlogistons — in der bisherigen Geschichtsschreibung des öfteren so übel verrufen — möge aus gewichtigem Grunde unsere Aufmerksamkeit vorübergehend fesseln.[365a] Dem Phlogiston wohnt das Bestreben inne,

[365] Vergleiche Seite 118 f. — [365a] KOPP, Geschichte der Chemie III 148 ff. In interessanter Weise hat E. WOHLWILL in seiner Studie über JUNGIUS (siehe Seite 177 Fußnote 360) dargelegt, daß in der Tat „GALILEI der Urheber der merkwürdigen Vorstellung“ ist, „durch die noch im Jahre 1772 GUYTON DE MORVEAU die Phlogistontheorie mit der Gewichtszunahme beim Verkalken zu vereinigen suchte“. (Seperatabdruck der WOHLWILL'schen Studie S. 50.)

von der Erdoberfläche sich zu entfernen, besagte diese Hülfshypothese, der phlogistonhaltige Körper ist dadurch in seiner Gravitation gegen die Erde vermindert, er wird absolut leichter. Lehren von dieser Art können füglich nur als Sprößlinge einer Zeit begriffen werden, welche einer physikalisch fest begründeten Auffassung der Schwere, wie sie NEWTON's Genius schaffen sollte, noch ermangelt.[366] Im Lichte des Mangels an einem naturwissenschaftlichen, mathematisch präzisierten Begriffe von der Schwere wird der Erbanteil phlogistischer Lehren an der verklungenen qualitativen Elementenlehre um so deutlicher offenbar. Es leuchtet ein, daß eine vorurteilslose, geschichtliche Würdigung der Phlogistontheorie mit allem Nachdruck eine gewichtige Frage in den Vordergrund zu rücken hat: die Frage nach der Entwicklung des Begriffes von der Schwere innerhalb der Physik der letzten Dezennien des 17. Jahrhunderts. Im Jahre 1687 hatte ISAAC NEWTON in seinen „Mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie" den endgültigen Beweis für die Theorie der allgemeinen Gravitation dargelegt. Als eine allgemeine Anziehung aus der Ferne, ohne Dazwischenkunft eines Mediums, das fähig wäre, mechanische Impulse fortzuleiten, war die Gravitation nach NEWTON's[367] Sinn keineswegs eine „wesentliche Eigenschaft der Körper"[368], die von derselben untrennbar wäre; die Kraft, welche die Körper gegeneinander treibt, galt ihm nach seiner ausdrücklichen Bemerkung als rein mathematischer Begriff, der keine Betrachtungen über die wirklichen physikalischen Ursachen in sich schließt. Und anscheinend von der Besorgnis getrieben, es könnte ihm die Idee einer ursprünglichen Gravitation als einer der Materie eigentümlichen, anhaftenden und wesentlichen Eigenschaft zugeschrieben werden, spricht NEWTON die klassischen Worte aus: „Den Grund für diese Eigenschaft der Gravitation war ich nicht imstande zu finden, und Hy-

[366] Siehe KAHLBAUM-HOFFMANN: Die Einführung der LAVOISIER'schen Theorie im Besonderen in Deutschland. Monographien aus der Geschichte der Chemie. I. Heft. — [367] Vergleiche zum folgenden ROSENBERGER: ISAAC NEWTON und seine physikalischen Prinzipien, STALLO: Die Begriffe und Theorien der modernen Physik S. 40 ff., ferner ERNST MACH: Erkenntnis und Irrtum, S. 233 ff. Leipzig 1905 und LANGE a. a. O. S. 220. — [368] Siehe Sir ISAAC NEWTON's Optik, OSTWALD's Klassiker Nr. 96, S. 4.

pothesen mache ich nicht." Und trotz dieses lapidaren Ausspruches und vielfacher Erklärungen ähnlicher Art sehen wir die Zeitgenossen NEWTON's sehr lebhaft die Annahme einer physikalischen Wirkung in die Ferne bekämpfen, da sie eine Rückkehr zu den bereits überwundenen, geheimen Ursachen in der Physik bedeute. Aus dem vielstimmigen Chorus seien nur die Stimmen HUYGHEN's und LEIBNIZ' vernommen, von denen der erste erklärt, daß „ihm NEWTON's Attraktionsprinzip absurd erscheine", während LEIBNIZ von einer „unkörperlichen und unerklärlichen Kraft" spricht. Dies war die Sachlage in den Kreisen der Physiker mit dem Ende des 17. und dem beginnenden 18. Jahrhundert. BECHER's Physica subterranea, die Quelle der STAHL'schen Lehre, war im Jahre 1669 erschienen. In STAHL's Denken selbst hatte die Idee von einem einzigen Träger der Brennbarkeit innerhalb der Gesamtheit der Körper seit dem Gelingen des „experimentum novum" feste Gestalt gewonnen. STAHL hatte dieses Experiment, das ihm von der entscheidensten Wichtigkeit dünkte, im Jahre 1697 beschrieben. Er hatte Schwefelsäure durch Binden an fixes Alkali feuerbeständiger gemacht und dem so hervorgebrachten Salz „Phlogiston zugeführt" (mit Kohle geglüht). Auf diese Weise war eine Schwefelleber entstanden, aus welcher durch Säure wahrer Schwefel ausgeschieden werden konnte. Eines war demnach mit unumstößlicher Gewißheit bewiesen. Der Schwefel war durch Vereinigung von Schwefelsäure und dem Brennbaren der Kohle entstanden, sein Brennbares war somit von gleicher Art wie jenes der Kohle; und auch in den Metallen ist es gleicherweise enthalten, wie es die Umwandlung der Metallkalke zu Metall durch Glühen mit Kohle lehrt. Bevor noch NEWTON's Auffassung der Schwere, „die imponierendste Leistung, deren die logische Kraft des menschlichen Geistes jemals fähig gewesen ist" (HELMHOLTZ), zum wissenschaftlichen Gemeingute der Gelehrtenkreise des Kontinents geworden war, hatten sich phlogistische Ideen fest eingewurzelt. Ihr geistiger Zusammenhang mit den aristotelisch-alchemistischen Traditionen ist zu einleuchtend, als daß er eigens dargelegt werden müßte. Welches aber sind die Begriffe des Stagiriten von „schwer" und „leicht"?[369]

[369] Vergl. S. 62 ff.

Was sich von Natur nach unten bewegt, ist schwer, was nach oben, ist leicht. Die Erde ist somit absolut schwer und ohne Leichtigkeit, das Feuer absolut leicht und schlechthin ohne Schwere; jene bewegt sich unbedingt nach der Mitte und sinkt deshalb unter alle anderen Körper, dieses bewegt sich unbedingt nach dem Umkreis und erhebt sich deshalb über alle. Zwischen diesen beiden Körpern aber steht das Wasser und die Luft, beide nur relativ schwer und daher auch relativ leicht; das Wasser ist schwerer als die Luft und das Feuer, aber leichter als die Erde, die Luft schwerer als das Feuer, aber leichter als Wasser und Erde.[370] Und allen diesen Bewegungen wurde nun scheinbar mit der gleichen Willkür eine einzige entgegengesetzt: die Erde sollte alle Körper mit einer ihren Massen gerade und dem Quadrat ihrer Entfernung verkehrt proportionalen Kraft in der Richtung nach dem Erdmittelpunkt hin anziehen. Newton hatte mit seinem berühmten „Hypotheses non fingo" anfangs den festen Entschluß kund gegeben, sich lediglich auf eine mathematische Darstellung der beobachteten Erscheinungen zu beschränken, ohne jene hypothetische Eigenschaft der Materie in Spekulation zu ziehen, welche den Erscheinungen der allgemeinen Gravitation zugrunde liegen sollte. Im Jahre 1675 jedoch fühlt er sich veranlaßt, der Royal Society eine Ätherhypothese zur Erklärung der Gravitation vorzulegen, weil er beobachtet hatte, „daß die Köpfe einiger großer Virtuosen sehr auf Hypothesen versessen waren", und auch ein Brief an Boyle aus dem Jahre 1678 enthält die Grundzüge einer Ätherhypothese.[371] Newton ist anscheinend geneigt, die Gravitation als sekundäre Erscheinung aufzufassen, insofern als dieselbe durch die Wirkung eines Äthers zu ersetzen ist, dessen Teilchen infolge ihrer abstoßenden Kraft voneinander sich zu entfernen streben, so daß der Äther, ein Medium von ungeheurer Elastizität, einerseits der Bewegung der Körper viel weniger Widerstand leistet als die Luft, andererseits durch das Bestreben, nach allen Seiten sich auszudehnen, auf dichte Körper viel mehr drückt. Der Gravitation

---

[370] Über Plato's Auffassung von „schwer" und „leicht" siehe S. 56 und Zeller a. a. O. II/1 S. 678, 3. Auflage. — [371] Newton's Optik a. a. O. Nr. 97 S. 154 Anm. 20.

erscheint somit die nicht weniger rätselhafte Eigenschaft der Elastizität zugrunde gelegt. Niemand, der in philosophischen Dingen ein kompetentes Urteil habe, meint NEWTON, könne auf die große Absurdität verfallen, daß Schwere eine ursprüngliche, inhärente und wesentliche Eigenschaft der Materie sein sollte, so daß ein Körper auf einen anderen in der Entfernung durch ein Vakuum ohne anderweitige Vermittlung wirke, ohne etwas, wodurch seine Wirkung und Kraft übertragen werde.

„Die Aufnahme der neuen Lehre auf dem Festlande war viel langsamer und störriger als auf der heimischen Insel", sagt WHEWELL[372] eingangs seiner Schilderung der Aufnahme von NEWTON's Theorie im Auslande. So sind es Tatsachen aus dem geschichtlichen Verlaufe der Physik, welche zum Untergrunde für die uns heute so eigenartig erscheinenden Erklärungsversuche werden, mit denen die Phlogistiker die Gewichtszunahme bei der Verkalkung zu erfassen vermeinten. Erst im Angesichte der Ergebnisse physikalischer und chemischer Empirie des zur Neige gehenden 18. Jahrhunderts war der Untergang des phlogistischen Lehrgebäudes besiegelt. Der Begriff von der allgemeinen Schwere schlug allmählich im wissenschaftlichen Bewußtsein feste Wurzel, die Auffassung von der Gewichtslosigkeit der Wärme erhielt ihren festgegründeten experimentellen Unterbau[373], und mit dem BLACK'schen Begriffe der latenten Wärme war eine neue Quelle für die bei jeder Verbrennung entwickelte Wärme, für das Entstehen des Feuers entdeckt.[374] Durch seinen klassischen Versuch, Metallmassen kalt und glühend zu wägen, hatte BOERHAAVE den schon von BOYLE gehegten Irrtum von dem Zutritt wägbarer Feuermaterie zum Metallkalk zerstört; den Forschungen BLACK's über die Alkalien und alkalischen Erden war das erste Beispiel einer Luftart (CO_2) entwachsen, deren Fortexistenz in der Verbindung mit einem festen oder flüssigen Körper überzeugend nachzuweisen war. In den Jahren 1771—73 hatten SCHEELE wie auch PRIESTLEY jene Versuche durchgeführt, welche zur Entdeckung des Sauerstoffes leiteten[375], die im Jahre 1774

[372] Geschichte der induktiven Wissenschaften II, 212. — [373] Siehe Seite 13 f. die Arbeiten LAVOISIER's hierüber. — [374] Siehe hiezu VOLHARD, Die Begründung der Chemie durch LAVOISIER. Journal für praktische Chemie (Neue Folge) Bd. II S. 1 — [375] KAHLBAUM, Zur Geschichte der Entdeckung des Sauerstoffes. Chemiker-Zeitung 1897 S. 283.

der chemischen Welt bekannt wurde. Das Beharrungsvermögen des menschlichen Geistes bringt es mit sich, daß das neu entdeckte Gas als neues Glied dem phlogistischen Systeme eingefügt wird. Der Sauerstoff wird zur „dephlogistisierten Luft“, zur Luft, welche von Phlogiston frei ist, in der daher die Körper ihr Phlogiston intensiver abzugeben vermögen, das heißt leichter verbrennen als in gewöhnlicher Luft. In analoger Weise hatte CAVENDISH 1776 seine „inflammable air“, welche durch verdünnte Säuren aus den Metallen auszutreiben war, geradezu mit dem Phlogiston identifiziert, umsomehr als diese „entzündliche Luft“ die Metallkalke mit außerordentlicher Leichtigkeit zu Metall verwandelte. Jedoch der umwälzende Gedanke von dem wahren Wesen der Verbrennung ist seit langem auf dem Wege. Seine ersten Vorläufer melden sich bereits mehrere Dezennien vor dem Zeitabschnitt, in welchem die Lehre STAHL's zur Herrschaft gelangt. Im Jahre 1630 erklärte REY, ein französischer Arzt, die Gewichtszunahme bei der Verkalkung des Zinns und des Bleis durch eine Absorption von Luft. Die Luft mache den Metallkalk in der Art schwerer, wie etwa Sand an Gewicht zunehme, wenn er mit Wasser angefeuchtet wird. MAYOW[376], ein englischer Arzt, schrieb 1668 die gewichtsvermehrende Rolle bei der Verkalkung des Antimons dem „spiritus-nitro aëreus“ zu „einer mit dem Salpeter in engem Zusammenhange stehenden Substanz. Diese bildet einen Geist, welcher mit den Erscheinungen des Lebens, des Brennens und des Gährens eng verbunden ist“. HOOKE hatte 1665 in seiner „Mikrographia“ die Existenz einer Substanz in der Luft vorausgesetzt, welche mit der im Salpeter fixierten ähnlich, wenn nicht identisch ist. Sie hat die Eigenschaft, alle hinreichend erhitzten, brennbaren Substanzen aufzulösen, wobei Feuer, eine reine Bewegungserscheinung, und ein luftförmiges, flüssiges oder festes Produkt der Auflösung entsteht.[377] So keimt bereits der große

[376] OSTWALD's Klassiker Nr. 125: Untersuchungen über den Salpeter und den salpetrigen Luftgeist, das Brennen und das Athmen von JOHN MAYOW. — [377] WILLIS behauptet 1671, daß zur Unterhaltung einer Flamme ein „pabulum nitrosum“ von der Luft zugeführt werden muß. Die Verbrennung besteht darin, daß die verbrennlichen Teilchen aus dem brennenden Körper herausstürzen und mit den salpetrigen Teilchen der Luft in Kollision geraten. Teilweise aber erklärt WILLIS die Verbrennung auch durch das Austreten eines brennbaren Prinzipes aus dem

Gedanke[378], bis ihm, zur Reife gediehen, das Genie LAVOISIER's ein Jahrhundert später die Pforten öffnen sollte. In seinen Versuchen jüngeren Datums war auch LAVOISIER (1743 bis 1794) den Fußstapfen REY's gefolgt, indem er die Gewichtszunahme bei der Verbrennung des Schwefels und des Phosphors, sowie bei der Verkalkung der Metalle der Absorption von Luft zuschrieb.[379] Doch im Jahre 1777 erfolgt die erste Wendung, indem LAVOISIER der Akademie in Paris zwei Abhandlungen überreicht: „Über die Verbrennung der Kerzen" und „Über die Verbrennung im allgemeinen"[380], welche die Grundzüge seiner neuen Theorie im diametralen Gegensatz zu der bisherigen Verbrennungstheorie STAHL's in sich schließen. Nicht eine mit aller Schärfe bewiesene Theorie gedenkt LAVOISIER an die Stelle der STAHL'schen Doktrin zu setzen, sondern einzig und allein nur eine Hypothese, welche ihm wahrscheinlicher und den Naturgesetzen entsprechender dünkt. Als entscheidendes Ereignis tritt 1783—1784 die Erkenntnis und Bestätigung der Zusammengesetztheit des Wassers auf. LAVOISIER erfaßt auf der Stelle die Tatsache der Bildung von Wasser aus inflammabler Luft (Wasserstoff) und Lebensluft (Sauerstoff) als hervorragende Stütze seiner Ansichten von der Verbrennung. Die seit CAVENDISH (1731 bis 1810) eingewurzelte Anschauung, daß der Wasserstoff reines Phlogiston sei, welches bei der Auflösung von Metallen in Säuren entweiche, war nun mit Erfolg zu widerlegen, denn nun lag der Nachweis nahe, daß die Bildung des Wasserstoffes in den meisten Fällen mit einer gleichzeitigen Zersetzung von Wasser verbunden sei. Mit hastigem Eifer widmet sich denn auch LAVOISIER der experimentellen Bestätigung[381] dieser Entdeckung. Und nun unternimmt er seine radikale Verwerfung der Lehre STAHL's. Dieses Wesen (das Phlogiston), welches STAHL in die Chemie einführte, sei weit davon entfernt, dieser Wissen-

brennenden Körper. Er ist in diesem Punkte als Vorläufer STAHL's zu betrachten. Auch HOOKE steht mit seiner Ansicht von dem Aufnehmen verbrennlicher Substanz durch ein Lösungsmittel der späteren Phlogistonlehre einigermaßen nahe. — [378] Im Jahre 1745 erklärt der russische Physikochemiker LOMONOSSOW die Gewichtszunahme bei der Kalzination durch die Aufnahme von Luftpartikelchen. Siehe den Aufsatz von MENSCHUTKIN in: Annalen der Naturphilosophie, Band IV, S. 204. — [379] Oeuvres de LAVOISIER II/99 ff. — [380] Oeuvres II/184 ff. u. II 225 ff. — [381] Siehe S. 12.

schaft Klarheit zu verschaffen, meint LAVOISIER. Seinem Dafürhalten nach habe es vielmehr aus der Chemie einen dunklen und unverständlichen Wissenszweig für diejenigen gemacht, welche ihr kein ganz besonderes Studium widmen. „Es ist der Deus ex machina der Metaphysiker: ein Wesen, das alles erklärt, und das nichts erklärt, welchem der Reihe nach direkt entgegengesetzte Eigenschaften angedichtet werden.“[382] Die Phlogistontheorie erscheint ihm nun als „unheilvoller Irrtum in der Chemie“.[383] Als das historische Jahr, welches unserer Wissenschaft diese ententschiedene und gefestigte Beseitigung der STAHL'schen Lehre seitens LAVOISIER brachte, ist das Jahr 1786 zu bezeichnen. LAVOISIER's umwälzende Lehre findet rasche Verbreitung.[384] Schon im Jahre 1795 ist sie auf der ganzen Linie siegreich durchgedrungen, und die Phlogistontheorie, dieser späte Nachhall aristotelischer Naturauffassung, kommt zum Schweigen.

In die Zeit der Phlogistontheorie fällt auch die Weiterentwicklung des chemischen Elementbegriffes im Geiste ROBERT BOYLE's. Im Jahre 1732 erscheint das große Lehrbuch BOERHAAVE's, Professors an der Universität zu Leiden: „Elementa chemiae“. Es vertritt die BOYLE'sche Grundidee, die, wie erinnerlich, mit der aristotelisch-alchemistischen Überlieferung völlig gebrochen hat; als Elemente sind nur diejenigen Bestandteile der Körper aufzufassen, welche durch die Analyse herstellbar sind. Je mehr diese Auffassung des chemischen Elementes unter den Phlogistikern Raum gewinnt, desto prägnanter werden die Unterscheidung und die Bezeichnungen von Stoffen, deren Darstellung tatsächlich vollzogen, deren weitere Unzerlegbarkeit bewiesen war. Die Gleichstellung von Stoffen auf Grund oberflächlicher Analogien hin — ein Übel früherer Zeiten — verschwindet mehr und mehr. Die Frage nach der elementaren oder zusammengesetzten Natur eines Stoffes wird Gegenstand rationeller Forschung, ja diese Frage rückt in den Brennpunkt wissenschaftlichen Interesses.

[382] Oeuvres II/510. Als Vorläufer LAVOISIER's sei VOLTAIRE (1694 bis 1778) genannt, denn „mit treffendem Scharfblick, seiner Zeit weit vorauseilend, erklärt er die Gewichtszunahme bei der Verkalkung durch Aufnahme eines Stoffes aus der Luft, welche ihm kein Element, sondern ein Gemenge von Dämpfen ist.“ Reden von EMIL DU BOIS-REYMOND. Erste Folge S. 13, „VOLTAIRE als Naturforscher.“ — [383] Oeuvres II/623. — [384] Vergleiche KAHLBAUM-HOFFMANN a. a. O.

Im Jahre 1787 geben LAVOISIER, BERTHOLLET und FOURCROY[385] in Gemeinschaft die „Nomenclature chimique" heraus, womit dem lebhaften Wunsche der gesamten wissenschaftlichen Welt, nach Einigung in Bezug auf die Benennung der Körper, entsprochen werden sollte. Die Gesamtheit der Körper wird in die Elemente und die Zusammensetzungen geschieden. Die Elemente, Stoffe, deren weitere Zerlegung undurchführbar ist, zerfallen in fünf Klassen. Zur ersten zählt: die Wärme, das Licht, der Sauerstoff, der Wasserstoff, der Stickstoff, Körper, deren Vorkommen sehr verbreitet und deren Verhalten für Unzerlegbarkeit spricht. Die zweite Klasse enthält die säureerzeugenden Basen, wie Schwefel, Phosphor, Kohlenstoff etc. Die dritte Klasse umfaßt die Metalle, die vierte die Erden, die fünfte schließlich die Alkalien. Über die letzten Ausläufer der aristotelisch-alchemistischen Elementenlehre hinaus: der Annahme von fünf Grundsubstanzen, sowie über die vielfach ungeklärten Ansichten KUNKEL's, BECHER's und STAHL's war somit der BOYLE'sche Begriff vom chemischen Elemente, getragen von einer kräftigen chemischen Empirie, siegreich geblieben.

Ein Seitenstück zur Ausbildung des chemischen Elementbegriffes im steten Kampfe gegen die aristotelische Überlieferung bietet die Entwicklungsgeschichte des Begriffes der chemischen Verbindung. Die ersten Anfänge der Entwicklung dieses Begriffes liegen in den Vorstellungen von der „Mischung", welche ARISTOTELES[386] darlegt. Die Linie seiner Weiterentwicklung führt tief in die scholastische Spekulation über die Frage nach dem Verhalten der Bestandteile in der „Mischung". Diese Frage bildet sogar den Gipfelpunkt scholastischer Physik.[387] Jene Stellen der aristotelischen Schriften, welche sich mit dem Mischungsbegriffe beschäftigten, waren nicht mit der nötigen Schärfe ausgeprägt, um in der Frage klar sehen zu können, wie die Grundansicht von der völligen Homogenität der „Mischung" in Übereinstimmung zu bringen sei mit der weiteren, von ARISTOTELES zugestandenen Tatsache, daß die Elemente innerhalb der Verbindung, wenn auch in den Eigenschaften verändert, doch nicht untergehen. Wenn

[385] Methode de Nomenclature chimique. Paris, 1787. — [386] Siehe S. 66 ff. — [387] LASSWITZ a. a. O. I 235.

der zusammengesetzte Körper seiner Grundmasse nach ein gleichmäßiges Kontinuum sein solle, wie ist es dann einerseits denkbar, daß innerhalb dieses Kontinuums die Elemente ihrer „Form“ nach erhalten bleiben, wie ist es andererseits möglich, daß die Verbindung eine völlig einheitliche „Form“ besitzt? Den Naturbegriffen des aristotelischen Systems selbst entsprangen jene Schwierigkeiten, welche die Frage nach dem Beharren der Elemente in der Verbindung schließlich zu einem gordischen Knoten werden ließen, den nur die Korpuskularphysik zu durchhauen vermochte, indem sie die Frage einfach in dem Sinne bejahte, daß die ins kleinste zerteilten Elemente substanziell im Zusammengesetzten erhalten blieben. Die wertvolle historische Bedeutung dieser Frage liegt in dem Umstande, daß die unfruchtbare Begriffsspalterei, mit welcher die Scholastik diese Frage, als einer der schwächsten Punkte des aristotelischen Lehrgebäudes, übersponnen hatte, in der Übergangszeit den naturwissenschaftlich Denkenden um so mehr Anlaß bot, sich korpuskularen Ideen zuzuwenden. Die Weiterentwicklung des Verbindungsbegriffes bietet im Wesen keinerlei neue Gesichtspunkte dar. Die Überwindung aristotelisch-alchemistischer Anschauungen über die Natur der Körper, die Ausbildung des Elementbegriffes aus der erweiterten chemischen Empirie heraus sind auch im Gange der Entwicklung des Verbindungsbegriffes die Wendepunkte. Den aristotelisch-alchemistischen Vorstellungen, daß die Verbindung zweier Körper mit der Schöpfung eines durchaus neuen Körpers identisch sei, war der Boden entzogen, als im Kreise der chemischen Empirie, wenn auch nur in Form unsicheren Herumtastens, die Reagiermethoden aufzutauchen begannen, so daß die Erhaltung eines Stoffes in der Lösung nachzuweisen war. Wir sehen HELMONT den Beweis erbringen[388], daß Silber innerhalb der Lösung in Scheidewasser mit allen seinen Eigentümlichkeiten bewahrt bleibt und wieder in seiner vollen Menge ausgeschieden werden kann, ebenso wie die Kieselerde, mit Kali zu Glas verschmolzen, vermittels Säuren niederzuschlagen ist.[389] Einen Höhepunkt in der Geschichte

---

[388] Siehe S. 144 ff. — [389] Als Erster hat wohl THOMAS NORTON (1477) die unveränderte Erhaltung der Metalle in ihren Auflösungen ausgesprochen. KOPP, Geschichte der Chemie II/344.

des Verbindungsbegriffes bildet naturgemäß das Lebenswerk ROBERT BOYLE's.[390] Doch noch in den „Elementa chemiae" BOERHAAVE's (1732) finden wir den ausführlichen Beweis, daß die individuelle, chemische Natur der Körper beim Eintritt in eine Verbindung unberührt bleibe; so können die edlen Metalle, in welcher Säure immer aufgelöst, durch Glühen in ihren ursprünglichen Eigenschaften wieder erhalten werden[391], und ähnlich verhalten sich auch andere Substanzen. Auch der tiefgreifende Unterschied zwischen chemischer Verbindung und mechanischem Gemenge findet sich in aller Schärfe hervorgehoben. Mit dem kommenden Zeitalter quantitativ-chemischer Forschung mußte sodann der Begriff der chemischen Verbindung seine notwendige Vertiefung erfahren, indem Beziehungen zwischen den Eigenschaften einer Verbindung und den Mengenverhältnissen ihrer Komponenten offenbar wurden. Den ersten Anlauf hierzu bringt die Phlogistontheorie, indem STAHL und seine Nachfolger der Phlogistonmenge einen maßgebenden Einfluß auf die Eigenschaften eines Körpers beilegen. So liegt nach STAHL sowohl dem Schwefel als auch der schwefligen Säure: Schwefelsäure und Phlogiston, jedoch in verschiedenem Mengenverhältnis zugrunde, woraus sich die totale Verschiedenheit beider Körper genügend erklärt.[392]

[390] Siehe namentlich S. 175 ff. — [391] KOPP, a. a. O. II/348. — [392] a. a. O. II/351.

Die Entwicklung der Stöchiometrie. DALTON's Atomhypothese und deren Entstehung aus Studien physikalischer Natur.

Der erste Teil unserer Aufgabe, die Ausbildung des chemischen Elementbegriffes und seines Gegenstückes, des Verbindungsbegriffes, als Frucht des Sieges über die qualitative Elementenlehre zu schildern, mag vorläufig als abgeschlossen gelten.[393] ROBERT BOYLE hatte der Chemie das Ziel gewiesen, die unveränderlichen Elementarbestandteile der Körper zu erforschen. Er hatte seiner Wissenschaft korpuskulare Vorstellungen in fester Prägung überliefert. Die glänzenden Keime, welche in diesen Vorstellungen lagen, sollten aber erst nach mehr als einem Jahrhundert zur Reife kommen. Noch fehlten dem Zeitalter BOYLE's die Vorstellungen von festen Gewichtsverhältnissen, in welchen sich die elementaren Bestandteile miteinander verbinden, noch hatte die Generation von Chemikern, welche unmittelbar auf BOYLE folgte, die rückständlichen Vorstellungen aus aristotelisch-alchemistischer Zeit: die fünf Grundsubstanzen und schließlich die Phlogistonidee, nicht zu überwinden vermocht. Jedoch mit der Einführung korpuskularer Vorstellungen über das Wesen der Verbindungen war auch der Anstoß zu quantitativen Untersuchungen ein für allemal gegeben. Denn besteht der Körper aus unveränderlichen, kleinsten Teilchen, durch deren Anziehung und wechselnde Gruppierungen alle Verbindungs- und Zersetzungserscheinungen bedingt sind, dann zieht diese Vorstellung in unmittelbarer Folge die Frage nach sich, in welchen Mengenverhältnissen diese kleinsten Teilchen verschiedener Elemente in den

[393] Über die neueren Versuche, die Natur der chemischen Elemente und ihrer Verbindungen außerhalb der Atomhypothese zu betrachten, siehe das vorletzte Kapitel.

zusammengesetzten Körpern sich vereinigen. So werden bereits im phlogistischen Zeitalter messende Untersuchungen von zielvoller Gestaltung zur Tat. Die Neutralsalze sind die ersten Verbindungen, deren Zusammensetzung quantitativ ermittelt wird. Indem sich die entgegengesetzten Naturen ihrer beiden Komponenten frühzeitig der Beobachtung aufdrängen, führt diese Beobachtung bald zu der Idee, durch Mischung beider Komponenten in bestimmten Gewichtsverhältnissen jenen Punkt zu erreichen, in welchem die hervorstechenden, gegensätzlichen Eigenschaften beider Bestandteile, des sauren wie des alkalischen, in den neutralen Charakter des Salzes zusammenfließen. Ohne die Entwicklung des Begriffes der Neutralität einer Salzlösung näher zu verfolgen, sei nur daran erinnert, daß bereits im Jahre 1699 HOMBERG[394], wenn auch in total fehlerhafter Weise, den Versuch durchführt, die Mengen an verschiedenen Säuren zu messen, welche sich mit ein und derselben Menge an Alkali verbinden. HOMBERG zieht aus seiner Versuchsreihe den falschen Schluß, daß alle Säuren nur im Wassergehalt differieren, daß jedoch alle in genau gleicher Menge ein bestimmtes Gewicht an Alkali sättigen. Der Fortgang der quantitativen Analyse von Salzen knüpft sich an die Namen BERGMAN (1735—1784), der in der Geschichte der analytischen Chemie unsterblich ist, und KIRWAN (1735—1812). Die Triebfeder ihrer Untersuchungen bildet das Problem der Affinität, der chemischen Verwandtschaft. Überdies sucht BERGMAN den Gehalt der verschiedenen Metalle an Phlogiston festzustellen. Indem er die Tatsache, daß nur Metallkalke mit Säuren sich verbinden, mit den Erscheinungen der Metallfällung kombiniert, gelangt er zu dem Schluß, daß das fällende Metall an das in Lösung befindliche die nötige Menge an Phlogiston abgebe, damit das letztere im regulinischen Zustande existieren könne. Seine Messungen beziehen sich auf diejenige Menge eines Metalles, welche eine bestimmte Menge eines anderen aus seiner Lösung regulinisch zu fällen vermag, wodurch nach seiner Auffassungsweise die relativen Mengen zweier Metalle gefunden sind, welche denselben Phlogistongehalt auf-

[394] KOPP a. a. O. II/355.

weisen.[395] Dadurch bekommt er das Mittel an die Hand, um die verschiedenen Metalle nach ihrem Gehalt an Phlogiston zu ordnen. Daß die Idee von bestimmten Gewichtsverhältnissen, welche allen chemischen Verbindungen zugrunde liegen, der Leitstern der zahllosen, quantitativen Arbeiten BERGMAN's sein mußte, ist selbstredend. Hat BERGMAN diese Idee auch in keine bestimmte Formel gefaßt, so war sie ihm, wie allen anderen Chemikern, die vor und zu seiner Zeit daran gingen, mit Hülfe der Analyse die innere Beschaffenheit von Salzen, Mineralien und anderen zusammengesetzten Körpern zu ermitteln, jedenfalls zum Axiom geworden. Desgleichen ließ sich auch LAVOISIER von der Idee bestimmter chemischer Proportionen bei seinen ausgezeichneten Bemühungen leiten, die quantitative Zusammensetzung einer Reihe von Körpern zu bestimmen. LAVOISIER unterscheidet ausdrücklich die chemische Verbindung (dissolution) von der Lösung (solution), indem die erstere nur nach wenigen und bestimmten Proportionen aufgebaut ist, während die Zusammensetzungsverhältnisse der Lösung variabel sind.[396] In bestimmter Weise ausgesprochen, findet sich der Gedanke, daß jede chemische Vereinigung nach festen Proportionen vor sich gehe in der „Lehre von der Verwandtschaft der Körper", welche der Phlogistiker WENZEL (1740—1793) im Jahre 1777 veröffentlichte. WENZEL bestimmte die quantitative Zusammensetzung einer Anzahl von Neutralsalzen und auch Schwefelmetallen, oft unter Anwendung sehr scharfsinnig erdachter Methoden.[397] Die Erscheinung endlich, „dass zwey neutrale Salze, wenn sie einander zerlegen, wiederum neutrale Verbindungen machen", bildet den Ausgangspunkt des klassischen Werkes JEREMIAS BENJAMIN RICHTER's (1762—1807), das den Titel „Anfangsgründe der Stöchyometrie oder Meßkunst chymischer Elemente" trägt, da der Autor für die wissenschaftliche Disziplin, welche die Größenverhältnisse zwischen den Elementen bestimmen lehrt, keinen kürzeren und schicklicheren Namen ausfindig machen kann, als das Wort Stöchio-

[395] Nach unserer heutigen Auffassungsweise besagt dies, daß Metalloxyde, welche mit der gleichen Säuremenge sich verbinden, den gleichen Sauerstoffgehalt besitzen. — [396] KOPP a. a. O. II 368. — [397] KOPP: Die Entwicklung der Chemie in der neueren Zeit. S. 250.

metrie, von stoicheion, „welches in der griechischen Sprache ein Etwas bedeutet, was sich nicht weiter zergliedern lässet, und metrein, welches Größenverhältnisse finden heißt". RICHTER hat in diesem 1792—1794 in drei Teilen erschienenen Werke, sowie in seinen von 1792—1802 in elf Stücken periodisch erschienenen Schriften: „Über die neueren Gegenstände der Chemie", die prinzipielle Bedeutung der Tatsache, daß neutrale Lösungen von Salzen bei ihrer Vermischung, das heißt Wechselumsetzung, ihren neutralen Zustand ungeändert erhalten, vollkommen entwickelt. An die unmittelbare Folgerung, daß es bestimmte Größenverhältnisse zwischen den Bestandteilen der neutralen Salze geben müsse, schließt sich des weiteren die klare Erkenntnis, daß die verschiedenen Mengen von Stoffen — nach RICHTER's Ausdrucksweise „determinierter Elemente" —, welche sich mit ein und derselben Menge eines bestimmten Stoffes — eines „determinierenden Elementes" — zu neutralen Verbindungen vereinigen, unter sich stets in dem gleichen Verhältnis stehen, welches auch immer der zweite Stoff, das determinierende Element, sei.[398] Determinierende und determinierte Elemente sind nach der Auffassungsweise RICHTER's die Mengen von Säure und Base, welche sich gegenseitig neutralisieren. Dieser Lehrsatz ist die Grundlage unseres heutigen Gesetzes der Proportionalität oder der Verbindungsgewichte[399], jenes Gesetzes, welches die Massenverhältnisse chemischer Verbindungen in ganz allgemeiner Weise regelt. RICHTER nennt seinen Lehrsatz einen „wahren Probierstein der angestellten, sich auf Neutralitäts-Verhältnisse beziehenden Versuche". Neben den Arbeiten über die Sättigungsverhältnisse von Säuren und Basen sind RICHTER's Untersuchungen über die Metallfällungen nicht außer acht zu lassen, die um dieselbe Zeit, wie erinnerlich, auch BERGMAN in den Kreis seiner Forschungen zog. RICHTER sieht mit voller Klarheit (die in umgekehrtem Verhältnis zu seiner wunderlich-dunklen Ausdrucksweise steht), daß das fällende Metall dem gefällten nicht nur den Sauerstoff entzieht, sondern auch seine Säure bindet; die Mengen an ver-

[398] RICHTER: Über die neueren Gegenstände der Chemie 1795, II, S. 66 viertes Stück. — [399] Eine kurze übersichtliche Darlegung siehe BIEHRINGER: Einführung in die Stöchiometrie S. 24.

schiedenen Metalloxyden, welche hierbei ein und dieselbe Menge von Säure binden, sind alle durch den gleichen Gehalt an Sauerstoff gekennzeichnet. Das Sättigungsvermögen eines Oxyds ist daher von seinem Gehalte an Sauerstoff abhängig.

In den weiteren Entwicklungsgang der stöchiometrischen Grundlehren schiebt sich nun jene vorübergehende Episode ein, welche sich an die Namen Berthollet (1748—1822) und Proust (1755—1826) und ihren berühmten Streit über die Konstanz der chemischen Proportionen knüpft. Berthollet stellt den Satz auf, daß die Verbindungsverhältnisse der Elemente innerhalb der Verbindungen im allgemeinen variabel sind. Nur durch die Abhängigkeit der chemischen Verwandtschaft, der Affinität eines jeden wirksamen Stoffes von seiner Masse, sowie von gewissen physikalischen Bedingungen sind diesen wechselnden Verhältnissen Schranken gezogen. Der chemische Effekt eines Stoffes ist mathematisch durch ein Produkt zweier Faktoren darstellbar: der Affinität und der Masse[400], wobei die Affinität ihrerseits mit rein physikalischen Erscheinungen in Kombination tritt: der Kohäsion, der Anziehung der kleinsten Teilchen desselben Stoffes, die in seiner Schwerlöslichkeit ihr Maß findet, sowie der Elastizität, dem Bestreben der Stoffe, in den gasförmigen Zustand überzugehen, wofür die Leichtflüchtigkeit ein Maß abgibt.

Die Anschauungen, welche Berthollet über das Verbindungsverhältnis der Elemente hegt, ergeben sich somit als reine Konsequenz aus der Natur der Affinität, welche, in völliger Analogie mit der allgemeinen Gravitation, von der Masse des Stoffes abhängig ist. In dieser Verwandtschaftslehre Berthollet's prägt sich einer der hervorragendsten Züge aus der Entwicklungsgeschichte chemischer Hypothesen und Theorien auf das schärfste aus: es ist die Verkettung chemischer Lehren mit den jeweils dominierenden physikalischen Anschauungen. Vorläufige Hypothesen und auch dauernde Theorien erwachsen im ersten Entwicklungsgange der Chemie stets in enger Abhängigkeit von physikalischen Grundlehren, unter denen für unseren speziellen Fall das Newton'sche Prinzip der allgemeinen Gravi-

[400] Essai de statique chimique I/72. Siehe Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 74.

tation ausschlaggebend ist. Nach zwei Richtungen hin hat die Idee der allgemeinen Gravitation auf die Gestaltung der Affinitätslehre Einfluß genommen. Unter der Nachwirkung der Newton'schen Entdeckung wurde die Affinität, die ja gleich der allgemeinen Schwere als anziehende Kraft erschien, im 18. Jahrhundert von Bergman als jener Spezialfall der Schwerkraft gedeutet[401], in welchem sie zwischen den kleinsten Teilchen der Stoffe wirksam ist und somit in enger Beziehung zur Gestalt und Stellung dieser Teilchen steht. Dadurch ist die Attraktion der Stoffe zueinander durch den gegenseitigen Einfluß der kleinsten Teilchen bedingt, die sich unabänderlich in bestimmten Zahlenverhältnissen innerhalb der Verbindung zusammenlagern. In der Art vermag die Bergman'sche Lehre über die Natur der Affinität den Erfahrungen über die Konstanz der chemischen Proportionen vollauf Rechnung zu tragen. Berthollet bringt nun die Affinität der Schwerkraft noch näher, indem er die Abhängigkeit der letzteren von der Masse auch auf die chemische Anziehung überträgt. Die Abhängigkeit der Anziehung von der Masse ist ein unumstößliches Naturgesetz, das jedoch im Falle der chemischen Anziehung eine scheinbare Ausnahme dadurch erleidet, daß gewisse, rein physikalische Naturgesetze, Kohäsion und Elastizität, die Schwerlöslichkeit und das Kristallisationsbestreben, sowie der gasförmige Zustand der aufeinander wirkenden und der im Verlaufe des Prozesses resultierenden Stoffe mit in Rechnung zu ziehen sind. Sind die physikalischen Bedingungen im speziellen Falle nicht existent, kommen etwa nur Flüssigkeiten in Betracht, dann vermögen die Verbindungsverhältnisse der Elemente unbeschränkt in allen Möglichkeiten zu variieren, einzig bestimmt durch die Affinität in ihrer starren Abhängigkeit von der Masse der in Reaktion tretenden Stoffe. Mit dieser Formulierung des Affinitätsbegriffes ist ersichtlich die Konstanz der chemischen Proportionen unvereinbar. In allen Fällen vermag eine Änderung in der Masse der aufeinander wirkenden Stoffe die

[401] Nach Überwindung der Bergman'schen und Berthollet'schen Affinitätslehre nimmt bekanntlich die galvanische Elektrizität die frühere Rolle der Gravitation ein, indem im Berzelius'schen Dualismus der elektrische Gegensatz der Atome zur Affinität wird.

Gewichtsverhältnisse innerhalb der chemischen Verbindung zu beeinflussen. In der Tat gelten konstante Verbindungsverhältnisse nach BERTHOLLET nur als Ausnahmefälle dort, wo die hervorstechendsten Eigenschaften zweier Stoffe zum Ausgleich gelangen, wie bei der Vereinigung von Säure und Base. Die Neutralisation einer bestimmten Menge an Base oder Säure ruft stets den gleichen chemischen Effekt hervor[402], sofern sich lösliche Neutralsalze bilden. So bildet auch das konstante Gewichtsverhältnis, in welchem sich Wasserstoff und Sauerstoff verbinden[403], eine Ausnahme, bedingt durch die große Kontraktion, welche die Entstehung eines flüssigen Verbrennungsproduktes, des Wassers, nach sich zieht; dem Entstehen weiterer Verbindungen ist dadurch ein Hindernis geboten.

BERTHOLLET versucht seine Affinitätslehre auf ein weitläufiges, experimentelles Material zu fundieren, dessen zahlreiche Fehler jedoch offen zutage liegen, da BERTHOLLET sich von der Reinheit und dem einheitlichen Charakter der zu analysierenden Produkte nur mangelhaft Rechenschaft gibt und in der überwiegenden Zahl der Fälle mit Gemengen operiert. Eines seiner anschaulichsten Beispiele für das Variieren der Verbindungsverhältnisse zwischen zwei Grenzfällen sind die wechselnden Sauerstoffmengen der Oxyde.[404] Die Vereinigung des Metalles mit dem Sauerstoff hat die Überwindung einerseits der Kohäsion des Metalles, andererseits der Elastizität des Sauerstoffes zur Voraussetzung. Das erste ist nur durch ein bestimmtes Minimum an Sauerstoff, das zweite, das Fixieren des Sauerstoffes, durch ein solches an Metall zu erreichen, wodurch die eine Grenze, der niederste Sauerstoffgehalt, und auch die zweite, der kleinstmögliche Metallgehalt des Oxydes gezogen ist. BERTHOLLET's Untersuchungen, wie sie in seinem zweibändigen Werke: „Essai de statique chimique" (im Jahre 1803 zu Paris erschienen) verarbeitet vorliegen, haben den Fortschritt im Ausbau chemischer Grundlehren nicht zu verzögern vermocht. Nur der wertvolle Gedanke, daß das Endergebnis eines chemischen Prozesses nicht allein von der Natur der reagierenden Stoffe, sondern auch von ihren Mengenverhältnissen abhängig ist, hat sich als dauernd erwiesen,

[402] statique chimique I 71. — [403] ibid. I, 367. — [404] ibid. II 370.

da er fast ein Menschenalter später im Gesetz der Massenwirkung, wie es Guldberg und Waage aussprachen, wenn auch in verändertem Sinne, neues Leben gewann. Bis zu dieser Zeit hat die Entwicklung der Chemie ganz andere Bahnen eingeschlagen, als sie Berthollet vorschwebten. Das hochragende Ziel, welches er seiner Wissenschaft wies: die Mannigfaltigkeit der chemischen Erscheinungen auf bestimmte unveränderliche Eigenschaften des Stoffes zurückzuführen, die Fülle dieser Erscheinungen mit einem einzigen Prinzip, dem der allgemeinen Gravitation gleich, zu umschließen, mit einem Worte, in einer „Mechanik der Atome", die in der Himmelsmechanik ihr Vorbild fände, die umfassende Einheit der letzten Prinzipien physikalischer und chemischer Forschung zu erreichen, dieses hochragende Ziel blieb in den auf Berthollet's Werke folgenden Dezennien abseits liegen. Nicht die Affinität selbst und ihre mathematische Fassung in einem allgemeinen Gesetze, aus welchem die chemischen Erscheinungen durch Deduktion abzuleiten wären, stand im Brennpunkte der chemischen Forschung, das Hauptinteresse wandte sich vielmehr ausschließlich den Endergebnissen chemischer Prozesse zu, wobei die ihnen zugrunde liegenden Werdebedingungen der rein empirischen Erforschung überlassen blieben und ihre theoretische Deutung in zweite Linie gerückt war. Berthollet hatte seine Sätze allgemeiner Natur aus einer noch unzureichenden Gruppe von Erfahrungen abgeleitet. Der gesunde Entwicklungsgang der Chemie strebte nun danach, diese Gruppe zu erweitern. Wie jede andere Naturwissenschaft bedurfte auch die Chemie auf diesem Wege gewisser hypothetischer Voraussetzungen, an deren Hand sie ihre Forschungsergebnisse zu einem einheitlichen, widerspruchslosen Ganzen zu verknüpfen vermochte. Diese Führerrolle fiel noch zu Berthollet's Zeiten der Atomhypothese Dalton's zu, welche ihrem inneren Wesen nach der Lehre von den inkonstanten chemischen Proportionen zuwiderlaufend war. Jeder weitere Fortschritt in der quantitativen Analyse bestätigte die ausnahmslose Geltung konstanter Proportionen. Die trefflichen Arbeiten Proust's, welche sich über den Zeitraum vom Jahre 1799—1807 erstrecken, vermochten die Anschauungen Berthollet's über die wechselnden Gewichtsverhältnisse der Ele-

mente in den chemischen Verbindungen eingehend zu widerlegen. Die Untersuchungen PROUST's betreffen die Zusammensetzung von Salzen, Sauerstoff- und Schwefelverbindungen. So erkennt er die unabänderlich konstante Zusammensetzung des natürlichen wie des künstlichen Kupferkarbonates[405], er liefert den Nachweis, daß viele Metalle zwei oder drei Oxydationsstufen bilden, wobei die mittlere aus der Verbindung der niedrigsten und der höchsten Stufe hervorgehe, und die Sauerstoffmengen der Oxyde im allgemeinen nach festen Stufen und nicht im stetig wachsenden Verhältnis, wie es BERTHOLLET behauptet hatte, mit dem Metalle sich vereinigen. Das Gleiche gilt in betreff der Behauptungen BERTHOLLET's über den wechselnden Schwefelgehalt der Metallsulfide. So langwierig sich auch der Streit zwischen den beiden Forschern gestaltet, er endet mit dem völligen Siege PROUST's. An Scharfsinn seinem Gegner gleich, an Exaktheit und Vorsicht in der Analyse ihm bei weitem überlegen, vermag PROUST viele der von BERTHOLLET analysierten vermeintlichen chemischen Verbindungen als bloße Gemenge zu kennzeichnen, während er manche wasserhaltige Oxyde, Hydrate, als einer der ersten zu den „chemischen Verbindungen" zu rechnen weiß. Um so entschiedener war die völlige Niederlage BERTHOLLET's besiegelt, als mit den ersten Jahren des 19. Jahrhunderts und auch schon im letzten Dezennium des vorgehenden Jahrhunderts nicht nur die Kenntnis der lange unbeachteten Arbeiten WENZEL's und RICHTER's endlich in den Kreisen der Chemiker Eingang fand, sondern auch die quantitative Analyse jenen glänzenden Aufschwung nahm, wie er sich an die Namen KLAPROTH, ROSE, BUCHHOLZ und VAUQUELIN knüpft. Von DALTON's Leistungen vorläufig abgesehen, kamen hierzu die Arbeiten GAY-LUSSAC's über die Volumverhältnisse, in denen sich die Gase verbinden, und die klassische Bearbeitung, welche BERZELIUS'[406] experimentelles Genie dem allgemeinen Problem der Verbindungsgewichte angedeihen ließ.

In dieses Zeitalter der chemischen Forschung, dessen Ge-

[405] Annales de Chimie 32,30. Die Originalarbeiten PROUST's finden sich in den Bänden des Journal de Physique und der Annales de Chimie aus dem angegebenen Zeitraume. — [406] Siehe OSTWALD's Klassiker Nr. 35 und KAHLBAUM's Monographien a. a. O. Heft III: BERZELIUS' Werden und Wachsen, von SÖDERBAUM.



John Dalton.

Das Original ein Stahlstich von C. H. Jeens, nach einer Daguerrotypie gestochen.

präge durch die hervorragenden quantitativen Untersuchungen bestimmt wird, fällt die Verdichtung der korpuskularen Vorstellungen, welche seit BOYLE die Chemie beherrschen, zu dem chemischen Atombegriffe, wie ihn DALTON ersann. Die Geschichtsschreibung unserer Wissenschaft hat bis in die jüngste Zeit an der Vorstellung festgehalten, daß DALTON durch seine Entdeckung des Gesetzes der multiplen Proportionen unmittelbar die Anregung empfing, mittels einer atomistischen Hypothese die Erklärung für die einfachen und rationalen Gewichtsverhältnisse, nach welchen sich die Elemente in mehreren Stufen verbinden, zu liefern; hierbei sei DALTON von dem Streben nach einer möglichst einfachen Veranschaulichung der fundamentalen Tatsachen des eben entdeckten Gesetzes erfüllt gewesen. Neuerdings haben jedoch die Quellen[407] zur Genesis der DALTON'schen Atomhypothese durch die Entdeckung täglicher Laboratoriumsaufzeichnungen von DALTON's eigener Hand, die sich über den Zeitraum von 1802—1808 erstrecken, eine willkommene Bereicherung erfahren. Der Einblick in den Gedankengang DALTON's ist nun durch die Forschungen ROSCOE's und HARDEN's weit tiefer erschlossen als bisher, und das geschichtliche Verhältnis scheint sich in sein Gegenteil verkehren zu wollen: DALTON hat als begeisterter Anhänger der NEWTON'schen Ideen von der atomistischen Konstitution der Materie, bereits seinen physikalischen Studien, denen er sich mit besonderer Vorliebe widmete, atomistische Vorstellungen entgegengebracht; in diesen Vorstellungen wurde er durch seine berühmten Versuche über die Diffusion der Gase in hohem Grade bestärkt. Seine Atomhypothese scheint somit, wenn auch nur in Anwendung auf die gasförmigen Stoffe, auf physikalischem Boden völlig ausgereift, bevor sie in ihrer Erweiterung auf die Struktur flüssiger und fester Stoffe auf chemisches Gebiet überpflanzt wird. Aus der Atomhypothese vermag DALTON das Gesetz der multiplen

[407] Biographien DALTON's von HENRY, von SMITH und von LONSDALE. In neuester Zeit: DEBUS, Über einige Fundamentalsätze der Chemie, ferner ROSCOE und HARDEN: A new view of the origin of DALTON's atomic theory, deutsch von KAHLBAUM, Heft II der Monographien, dazu vergl. Zeitschrift für physikal. Chemie 20 359, 22 241 und 24 325, sowie in Bezug auf die Darstellungen von DEBUS betreffend das „DALTON-AVOGADRO'sche Gesetz", das Heft VII der KAHLBAUM'schen Monographien: „AMADEO AVOGADRO" von GUARESCHI.

Proportionen deduktiv abzuleiten, somit seine Hypothese in den Rang einer Theorie zu erheben, worauf alsbald die experimentelle Bestätigung des deduzierten Gesetzes erfolgt. Nach einer eingehenden Darlegung aller Beweise, welche eine derartige Auffassung über die Genesis der Atomtheorie zu stützen in der Lage sind, kommen ROSCOE und HARDEN zu dem Schlusse[408], daß „das Gewicht der Beweise demnach entschieden zugunsten der Darstellung in die Wagschale fällt, welche DALTON selbst im Jahre 1810 zu London gegeben hat[409], und nach der er zur chemischen Atomtheorie zunächst durch ausschließlich physikalische Überlegungen geführt wurde, im Gegensatz zu der bisher von den Chemikern vertretenen Ansicht, daß DALTON, um die von ihm aufgefundene Tatsache des Sichverbindens nach multiplen Proportionen zu erklären, die Atomtheorie ersonnen hätte".

DALTON's Ideengang knüpft entschieden an NEWTON's Auffassung des Stoffproblems an. Neben BOYLE ist es somit die erhabene Gestalt NEWTON's (1642—1727), deren Schatten über die letzte Phase in der Ausbildung des chemischen Atombegriffes fällt. Das Gravitationsprinzip NEWTON's ist ein überaus bedeutungsvoller Merkstein auf jenem Wege, den der antike Atombegriff zum chemischen Atombegriff DALTON's einschlug, denn es mußte eine einschneidende Änderung in der Form der Atomistik hervorrufen. Alle die kühnen Geister, welche durch Wiedererweckung und Vertiefung der antiken Atomistik das wissenschaftliche Bewußtsein einer neuen Zeit in die Bahn jener materialistisch-mechanistischen Auffassung zu lenken wußten, mit welcher vor mehr als zwei Jahrtausenden der Geist eines LEUKIPP, eines DEMOKRIT und eines EPIKUR den vielgestaltigen Reigen des Alls zu erfassen wähnten, hatten dem Atombegriff, wie ihn der hellenische Geist geboren, weitaus die überwiegende Zahl seiner Merkmale belassen. So sind GASSENDI's Atome fast noch völlig die Atome EPIKUR's. So zählt er unter den Grundeigenschaften der Atome ausdrücklich die Gestalt, die Figur auf, welche in unübersehbarer Mannigfaltigkeit den Atomen zu eigen ist. Mit ihren Häkchen und Hervorragungen aller Art vermögen sie sich in den

[408] a. a. O. S. 46. — [409] Gemeint ist eine Vorlesung vom 27. Jänner 1810 vor der Royal Institution, a. a. O. S. 14 ff. im wörtlichen Abdruck.

verschiedensten Gruppierungen zusammenzufügen.[410] Und erst die Unendlichkeiten von Gestalten, mit denen DESCARTES die Teilchen seines Feuerelementes und seines Erdelementes ausstattet! Die Teilchen des Erdelementes in ihrer Gestalt gleich baumartigen Verästelungen, gleich eckigen Bruchstücken von verschiedenster Form, gleich glatten, unverzweigten Stäbchen; die Teilchen des Feuerelementes in heftiger, endloser Zersplitterung begriffen, sie wechseln rastlos Größe und Gestalt! Desgleichen besitzen die Korpuskeln BOYLE's einen unerschöpflichen Reichtum an Gestalten; mit ihren Zacken, Haken, Ästen und so fort liefern sie das Substrat zu einer konsequent mechanischen Auffassung der Affinität, wie bestimmter chemischer Erscheinungen, so namentlich der Auflösung und der Fällung. Die Korpuskeln jener Stoffe, deren Verwandtschaft zueinander eine bedeutende ist, sind nach BOYLE durch die Besonderheit ihrer Gestalten derart ausgezeichnet, daß ein engeres Anschließen sowie ein festerer Zusammenhang ermöglicht wird. Die Korpuskeln des Schwefels und des Quecksilbers vereinigen sich zu einer beständigen Verbindung, dem Zinnober, doch die Teilchen des sal tartari (Alkali) vermögen sich noch enger mit denen des Schwefels zu verbinden, wodurch Quecksilber aus dem Zinnober frei wird.[411] Die kleinsten Teilchen der Säuren besitzen spitzige Form, welche ihnen das Eindringen in andere Körper leichter ermöglicht, worauf die Lösung beruht. So vermögen die Korpuskeln der Salpetersäure zwar in die Poren des Silbers, nicht aber in jene des Goldes einzudringen, woraus die Unlöslichkeit des Goldes in der Salpetersäure zu erklären ist. Bei der Fällung spielt die Übereinstimmung in der Gestalt der Korpuskeln des fällenden Körpers und des gelösten eine gewichtige Rolle.[412] Die großen Geister der Regenerationszeit der Naturwissenschaft waren somit in diesem Sinne noch völlig der Denkweise des antiken Materialismus untertan, der im Stoß der Atome oder in ihrem Zuge durch hakenförmige Vorsprünge in ihrer Aneinanderlagerung durch eigens hierzu ge-

[410] Vergleiche S. 152 ff. — [411] Origin of Forms and Qualities. W. III 96. — [412] BOYLE's nähere Darlegungen hierüber in den betreffenden Abschnitten der Experiments, Notes etc. about the mechanical Origin or Production of divers particular Qualities, W. IV/230 ff.

formte Ansätze und Vertiefungen, den Urgrund alles Naturgeschehens erblickte. Bis in seine kleinsten, verhäkelten Teilchen hinab, wohnten ja dem Universum die Züge eines starren Mechanismus inne! Und nun tritt NEWTON's Entdeckung der allgemeinen Schwere auf den Plan. Mit einem Schlage wird die unendliche Vielfältigkeit der Atomfiguren, welche dem Drange nach einer anschaulichen Versinnlichung des Ineinandergreifens und Zusammenhaltens der Atome in plumper Art entspricht, völlig entbehrlich, und das naturwissenschaftliche Denken vermag sich nunmehr über diese primitiv-barbarische Anschauungsform zu erheben. In Analogie mit der allgemeinen Anziehungskraft zwischen den Körpern wird nunmehr auch das Band, welches die Atome in ihren Gruppierungen zu Körpern zusammenhält, von rein abstraktem, unfigürlichem Wesen. NEWTON selbst zieht die Existenz von Molekularkräften in Erwägung. Die Frage 31 im Anhange zu seiner Optik beginnt mit folgenden Worten: „Besitzen nicht die kleinen Partikeln der Körper gewisse Kräfte (powers, virtues or forces), durch welche sie in die Ferne hin nicht nur auf die Lichtstrahlen einwirken, um sie zu reflektieren, zu brechen und zu beugen, sondern auch gegenseitig aufeinander, wodurch sie einen großen Teil der Naturerscheinungen hervorbringen? Denn es ist bekannt, daß die Körper durch die Anziehungen der Gravitation, des Magnetismus und der Elektrizität aufeinander einwirken. Diese Beispiele, die uns das Wesen und den Lauf der Natur zeigen, machen es wahrscheinlich, daß es außer den genannten noch andere anziehende Kräfte geben mag, denn die Natur behauptet immer Gleichförmigkeit und Übereinstimmung mit sich selbst. Wie diese Anziehungen bewerkstelligt werden mögen, will ich hier gar nicht untersuchen. Was ich Anziehung nenne, kann durch Impulse oder auf anderem, mir unbekanntem Wege zustande kommen."[413] Und nachdem NEWTON die Möglichkeit einer besonderen Attraktionskraft zwischen den Teilchen verschiedener Stoffe an der Hand einer ausführlichen Reihe chemischer und physikalischer Erscheinungen illustriert, spricht er folgende Sätze aus: „Die Teile aller homogenen harten Körper, die sich vollkommen be-

[413] SIR ISAAC NEWTON's Optik. OSTWALD's Klassiker Nr. 97 S. 125 ff.

rühren, hängen mit stärkster Kraft aneinander. Um zu erklären, wie dies möglich ist, haben Einige mit Häkchen versehene Atome erfunden, womit sie aus dem, was sie erst beweisen wollen, einen Schluß ziehen; Andere sagen, die Körper seien durch die Ruhe fest verbunden, das heißt durch eine verborgene Eigenschaft, oder eigentlich durch gar nichts[414], wieder Andere, sie hängen zusammen durch zusammenwirkende Bewegungen, das heißt durch relative Ruhe. Ich ziehe es vor, aus ihrer Kohäsion zu schließen, daß die Teilchen einander mit einer gewissen Kraft anziehen, welche bei unmittelbarer Berührung außerordentlich stark ist, bei geringen Abständen die erwähnten chemischen Vorgänge verursacht, deren Wirkung sich aber nicht weit von den Teilchen fort erstreckt."[415] Schließlich faßt Newton seine Ansicht von der atomistischen Struktur des Stoffes in der allgemeinsten Form und am bündigsten in den folgenden Sätzen zusammen: „Nach allen diesen Betrachtungen ist es mir wahrscheinlich, daß Gott im Anfange der Dinge die Materie in massiven, festen, harten, undurchdringlichen und beweglichen Partikeln erschuf, von solcher Größe und Gestalt, mit solchen Eigenschaften und in solchem Verhältnis zum Raume, wie sie zu dem Endzwecke führten, für den er sie gebildet hatte, daß ferner diese primitiven Teilchen, weil sie fest sind, unvergleichlich härter sind, als irgendwelche aus ihnen zusammengesetzte poröse Körper, ja so hart, daß sie nimmer verderben oder zerbrechen können, denn keine Macht von gewöhnlicher Art würde imstande sein, das zu zerteilen, was Gott selbst bei der ersten Schöpfung als Ganzes erschuf."[416]

Gelegentlich der Skizzierung jener theoretischen Grundlagen, auf welchen sich Berthollet's Ansichten über die Inkonstanz chemischer Proportionen aufbauten, hat die enge Abhängigkeit in der Bildung chemischer Lehren von den jeweils vorherrschenden physikalischen Anschauungen ihre flüchtige Andeutung gefunden. Es handelte sich in jenem Falle um die Bildung des Affinitätsbegriffes, der in enger Parallele mit dem Durchgreifen

---

[414] Diese Worte sind gegen Gassendi und Descartes gerichtet. — [415] a. a. O. S. 135. — [416] a. a. O. S. 143.

des Newton'schen Gravitationsprinzips seiner mathematischen Fassung zustrebt. Ein Gleiches gilt, und in gleich enger Abhängigkeit von dem Fundamente unserer Wissenschaft, der Atomhypothese Dalton's. Dalton wußte mit genialem Scharfblick die richtigen Konsequenzen aus der großen Umwälzung zu erfassen, welche Newton's Lehren in der aus der Antike überlieferten Form der Atomistik auslösen mußten. In den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts hatte die Lehre von der allgemeinen Gravitation dank der Tätigkeit der Schüler Newton's ihren Weg durch die Welt der Wissenschaft zurückgelegt. Dalton (1766—1844) fand den Gedanken an die Fernewirkung von Kräften bereits als festfundiertes, wissenschaftliches Gemeingut vor. Beobachtungen über den Aggregatzustand der Körper haben nach Dalton's Auffassung[417] „stillschweigend zu dem Schlusse geführt, welcher allgemein angenommen zu seyn scheint", daß alle Körper von merklicher Größe, ob flüssig oder fest, aus einer ungeheuren Anzahl von äußerst kleinen Teilchen oder Atomen bestehen, welche miteinander durch eine je nach den Umständen stärkere oder schwächere Anziehungskraft verbunden sind. Neben dieser Kraft der Attraktion finden wir noch eine andere Kraft vor, die ebenfalls allgemein ist oder auf alle Materie wirkt, von der wir Kenntnis erlangen, nämlich eine Kraft der Repulsion. Sie wird allgemein mit Recht dem Wärmestoff zugeschrieben, welcher in Form eines feinen Fluidums kontinuierlich die kleinsten Teilchen der Körper umgibt und sie verhindert, in unmittelbare Berührung zu gelangen. Die nächstliegende Konsequenz ist nun die völlige Gleichheit der Atome; indem Attraktions- und Repulsionskräfte die frühere Wirkung der Atome durch den Stoß in unmittelbarer Berührung ersetzen, werden auch die vorher so zweckentsprechenden Formen der Atome mit ihren Vorsprüngen und ihren Riefen, ihren Haken und Ösen zum überflüssigen Ballast. In der Tat scheint Dalton die Frage, ob die letzten Teilchen eines Stoffes alle gleich sind, das heißt von derselben Gestalt, demselben Gewicht etc., von einiger Wichtigkeit zu sein. Aus dem, was wir

[417] New System of chemical philosophy, deutsch von Wolff, I/160 ff. Vergl. zum folgenden auch Ostwald's Klassiker Nr. 3.

wissen, haben wir nach DALTON's Meinung keinen Grund, eine Verschiedenheit dieser Teile zu vermuten. Wir können schließen, daß die letzten Teilchen aller homogenen Stoffe völlig gleich in Gewicht, Gestalt etc. sind. Mit anderen Worten, jedes Atom Wasser ist gleich jedem anderen Atom Wasser; jedes Atom Wasserstoff ist gleich jedem anderen Atom Wasserstoff und so fort. DALTON's Vorstellung von einer kontinuierlichen Hülle an Wärmestoff, welche die Atome umgibt, weist in ihrer Gestaltung noch auf die DESCARTES'sche Kontinuitätshypothese[418] hin, mit ihrer immer feiner und feineren Zersplitterung der Urpartikeln, deren Splitter nunmehr den Raum kontinuierlich zu erfüllen vermögen. An Stelle des DESCARTES'schen Feuerelementes tritt nun der Wärmestoff als imponderables Agens, zwischen dessen Teilchen nach völliger Analogie ponderabler Atome ebenso abstoßende Kräfte wirksam sind.

Versuchen wir, die Zahl der Atome[419] in der Atmosphäre zu begreifen, so wäre dies eine Aufgabe, als ob wir die Zahl der Sterne im Weltall zu zählen hätten; der Gedanke verwirrt uns. Jedoch wenn wir den Gegenstand begrenzen und ein gegebenes Volum irgend eines Gases ins Auge fassen, so sind wir von der Überzeugung durchdrungen, daß die Zahl der Atome endlich sein muß, ebenso wie in einem abgegrenzten Teil des Weltalls die Zahl der Sterne und der Planeten nicht unbegrenzt sein kann. Die chemische Synthese und Analyse vermag nur bis zur Trennung der Atome und ihrer Wiedervereinigung vorzudringen. Keine Neuerschaffung oder Vernichtung von Materie ist im Bereiche chemischer Wirkung möglich. Wir könnten ebensowohl versuchen, dem Sonnensystem einen neuen Planeten hinzuzufügen, als ein Atom Wasserstoff zu erschaffen oder zu vernichten. Alle Veränderungen, welche wir hervorzurufen vermögen, bestehen in der Trennung von Atomen und in der Wiedervereinigung solcher Atome, die vorher geschieden waren.

Der Öffentlichkeit legte DALTON eine Darstellung seiner Atomtheorie zum erstenmal am 21. Oktober 1803 vor, als er vor einem Auditorium von neun Mitgliedern der Literary and Philosophical Society zu Manchester seine Untersuchungen „Über die Absorp-

[418] Vergl. S. 159. — [419] a. a. O. I 238 ff.

tion der Gase durch Wasser und andere Flüssigkeiten"[420] vortrug. In ihrem Hauptteile enthält diese Arbeit im wesentlichen die Erweiterung des HENRY'schen Gesetzes (nach welchem die von Flüssigkeiten absorbierten Gasmengen proportional dem Drucke sind, unter welchem die Absorption erfolgt) auf Gasgemische. Bedeutungsvoll ist der Schluß dieser Arbeit, denn DALTON bemerkt: „Die größte Schwierigkeit erwächst der mechanischen Hypothese daraus, daß die verschiedenen Gase verschiedenen Gesetzen gehorchen. Warum nimmt Wasser nicht von allen Gasen gleichviel auf?[421] Ich habe mir diese Frage gründlich überlegt, und obwohl ich zu keinem mich völlig befriedigenden Schlusse gelangt bin, halte ich es fast für sicher, daß dies von dem Gewicht und der Zahl der kleinsten Teilchen der verschiedenen Gase abhängt. Diejenigen, deren Teilchen frei für sich existieren und die leichtesten sind, sind auch die am wenigsten absorbierbaren, und die anderen sind es um so mehr, je mehr sie an Gewicht und Zusammengesetztheit zunehmen. Soviel ich weiß, sind Untersuchungen über das relative Gewicht der kleinsten Teilchen, wie ich sie letzthin mit bemerkenswertem Erfolge angestellt habe, etwas durchaus Neues. Auf die Prinzipien, nach denen ich dabei verfuhr, kann ich an dieser Stelle nicht eingehen; doch will ich die Resultate meiner Versuche, soweit sie mir gesichert erscheinen, hier folgen lassen:

„Tabelle der relativen Gewichte der kleinsten Teilchen gasförmiger und anderer Körper."

Wasserstoff	1
Stickstoff	4·2
Kohlenstoff	4·3
Sauerstoff	5·5
Salpetergas	9·7
Kohlenoxydgas	9·8

---

[420] OSTWALD's Klassiker Nr. 3. DALTON's Abhandlung erschien in den Druckschriften der Gesellschaft vom November 1805. — [421] Siehe ROSCOE und HARDEN, a. a. O. S. 4.

Oxydiertes Stickgas	13·9
Schwefel	14·4
Salpetersäure	15·2
Kohlensäure	15·3
Schweflichte Säure	19·9
Schwefelsäure	25·4
Kohlehaltiges Wasserstoffgas aus Sümpfen	6·3
Ölmachendes Gas	5·3.

DALTON's Tabelle, die erste Atomgewichtstabelle, welche in den Annalen unserer Wissenschaft verzeichnet steht, umfaßt 21 Stoffe, teils elementarer, teils zusammengesetzter Natur. Aus dieser Zahl sind die vorstehenden Daten die bemerkenswertesten, da aus ihnen ersichtlich ist, daß DALTON das Gesetz der konstanten und multiplen Proportionen völlig inne hatte. Deutlich erhellt diese Tatsache aus dem Vergleich der Gewichte beider Kohlenwasserstoffe, sowie der Sauerstoffverbindungen des Schwefels, der Kohle und des Stickstoffs.

Die Grundzüge seiner neuen Theorie legte DALTON des weiteren in jenen Vorlesungen dar, welche er im Dezember 1803 und im Januar 1804 vor der Royal Institution in London und im Jahre 1807 in Edinburg abhielt. Im August 1804 teilte er seine atomistischen Anschauungen seinem Freunde THOMAS THOMSON mit, welcher sie in sein Werk: „System of Chemistry"[422] mit DALTON's Einwilligung aufnahm. Im Jahre 1808 erschien endlich DALTON's: „New System of Chemical Philosophy", das eine ausführliche Darlegung der Atomlehre enthielt. „Von dem Beginne seines wissenschaftlichen Lebens an", schreibt DALTON's Biograph SMITH, „war DALTON gewohnt, sich Gedanken über die Zusammensetzung der Atmosphäre zu machen, wie dies schon aus seiner Meteorologie von 1793 zu ersehen ist. Die Vorliebe für diese Studien blieb ihm und führte ihn zu dem der Gase im allgemeinen".[423] DALTON selbst gesteht die Schwierigkeiten zu, welche sich der Beantwortung der im Gebiete seiner Studien zunächst liegenden Frage in den Weg stellten, wie es möglich

[422] 3. Aufl. 1807. Band III. p. 424 ff. — [423] Memoir of DALTON p. 231.

sei, „daß eine »zusammengesetzte« Atmosphäre, das heißt ein Gemenge von zwei oder mehr elastischen Flüssigkeiten augenscheinlich eine homogene oder eine in allen mechanischen Beziehungen mit einer einfachen übereinstimmende Atmosphäre bilden kann".[424] Nach der landläufigen Meinung vor DALTON's Entdeckung der Gasdiffusion hätte sich eine Mischung von Gasen, wie die Atmosphäre sie darstellt, in Schichten nach dem spezifischen Gewicht ordnen sollen: zu unterst die Kohlensäure, in der Mitte der Sauerstoff und zu oberst das Stickgas. Die Analyse der atmosphärischen Luft widersprach jedoch dieser Anschauung schnurstracks, denn sie lehrte die gleiche Zusammensetzung der verschiedensten Luftschichten; selbst Gase von außerordentlich differierendem spezifischen Gewicht, wie Kohlensäure und Wasserstoff, zeigten nicht nur keinerlei Schichtung, die Kohlensäure bewegte sich vielmehr nach aufwärts, der Wasserstoff nach abwärts, bis eine gleichmäßige Mischung resultierte. DALTON hebt hervor, daß NEWTON in der 23. Proposition des zweiten Buches seiner „Prinzipia" deutlich auseinandergesetzt habe, wie eine elastische Flüssigkeit aus kleinen Partikeln oder Atomen von Materie bestehe, welche sich mit einer Kraft abstoßen, die der Abnahme ihrer gegenseitigen Entfernung proportional wächst. Da nun durch neuere Entdeckungen nachgewiesen ist, daß die Atmosphäre aus drei oder mehr elastischen Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischen Gewicht besteht, so wollte es DALTON nicht klar werden, wie dieser Satz NEWTON's auf einen Fall, von dem er natürlich noch gar nichts wissen konnte, anzuwenden ist.[425] Im Jahre 1801 verfällt er auf die Annahme, daß die Teilchen eines Gases sich nicht gegen die Teilchen eines anderen Gases, sondern nur gegen die Teilchen ihrer eigenen Art elastisch oder abstoßend verhalten.[426] Die Gase verhalten sich somit passiv, das eine vermag in das andere wie in ein Vakuum einzudringen. Jedoch verschiedene Erwägungen bewegen DALTON, späterhin von dieser Erklärungsweise abzuweichen. So findet er namentlich bei einer Reihe von Versuchen[427], daß die Diffusion der Gase durcheinander

[424] ROSCOE und HARDEN a. a. O. S. 14. — [425] a. a. O. S. 14. — [426] New System a. a. O. S. 174. — [427] ROSCOE und HARDEN a. a. O. S. 16.

nur langsam vor sich geht und erhebliche Kräfte zu erfordern scheint. Es taucht ihm der Gedanke auf, den Einfluß der verschiedenen Größe der Partikeln der elastischen Flüssigkeiten in Betracht zu ziehen. Jede Art reiner elastischer Flüssigkeiten bestehe aus kugelförmigen Teilchen, welche alle eine gleiche Größe haben, jedoch zwei Arten derselben kommen in der Größe ihrer Teilchen nicht überein[428], wenn der Druck der Atmosphäre und die Temperatur dieselben sind. Vorausgesetzt, daß die Wärme die abstoßende Kraft ist, kann sich kein Gleichgewichtszustand zwischen Teilchen ungleicher Größe, die aufeinander drücken, einstellen. Bringt man ein Maß einer Gasart mit einem Maß einer anderen in irgendeinem Gefäße zusammen, so hat man eine Oberfläche von elastischen Kügelchen von einer Größe, in Berührung mit einer gleichen Oberfläche von Teilchen einer anderen. Aus dieser Ungleichheit muß eine innere Bewegung entstehen, und die Teilchen einer Art müssen gegen die der anderen fortgetrieben werden. Die Teilchen der einen Art sind wegen ihrer verschiedenen Größe unfähig, sich gehörig an die der anderen anzuschließen, so daß demnach unter den heterogenen Teilchen kein Gleichgewicht eintreten kann. Es muß folglich die innere Bewegung so lange fortwähren, bis die Teilchen an der entgegengesetzten Fläche des Gefäßes zu einem Punkte gelangen, wo sie dann in Ruhe sein können, und das Gleichgewicht tritt endlich dann ein, wenn das eine Gas sich gleichförmig durch das andere verbreitet hat. Wie nun diese Anschauungen über den Aufbau elastischer Flüssigkeiten den Anstoß zu Atomgewichtsbestimmungen geben, kommt in den folgenden Worten DALTON's zum Ausdruck: „Nachdem ich so die Ansicht von der Verschiedenheit der Größe der Teilchen der elastischen Flüssigkeiten bei gleichem Druck und gleicher Temperatur gefaßt hatte, trat an mich auch die Aufgabe heran, in einem gegebenen Volumen die relative Größe und das relative Gewicht der Atome gleichzeitig mit ihrer relativen Zahl zu bestimmen. Dies führte mich zur Betrachtung der gasförmigen Verbindungen und der Zahl von Atomen, die in eine solche Verbindung eintreten, deren Einzelheiten in dem Folgenden noch aus-

[428] New System a. a. O. S. 210.

führlicher behandelt werden sollen. Neben den elastischen Flüssigkeiten zog ich noch andere Körper, sowohl feste wie tropfbare, wegen ihrer Verbindung mit gasförmigen, ebenfalls zur Erforschung heran und stellte so eine ganze Reihe von Versuchen an, um Zahl und Gewicht aller chemischen Grundstoffe, die miteinander irgendwelche Verbindung eingehen, festzustellen."[429]

NEWTON's Lehre von der Zusammensetzung elastischer Flüssigkeiten aus repulsiven Partikelchen ist der Ausgangspunkt von DALTON's Ideengang, der ihn schließlich zur Bestimmung der Atomgewichte leitet. „NEWTON hat aus den Erscheinungen", so bemerkt DALTON, „welche sich bei der Verdichtung und Verdünnung elastischer Flüssigkeiten ergeben, dargetan, daß die elastischen Flüssigkeiten aus Teilchen bestehen, welche einander mit Kräften, die in dem Verhältnisse wachsen, wie die Entfernungen ihrer Mittelpunkte abnehmen, zurückstoßen. Kürzer läßt sich dies so ausdrücken, daß man sagt, die Kräfte verhalten sich umgekehrt wie ihre Entfernungen. Diese Sätze werden so lange bestehen, als die Gesetze für die elastischen Flüssigkeiten beharren, das zu seyn, was sie sind. Wie sehr ist es daher zu bedauern, daß diejenigen, welche sich herausnehmen, über die Konstitution elastischer Flüssigkeiten zu raisonniren oder darüber Theorien aufzustellen, sich nicht durchgängig mit diesen unwandelbaren Gesetzen bekannt gemacht haben und sie nicht stets vor Augen behalten, wenn sie neue Hypothesen über diesen Gegenstand entwerfen!"[430] Aus DALTON's wissenschaftlichem Tagebuch, welches über die fortlaufende experimentelle Beschäftigung des genialen Forschers in den Jahren 1802—1808 genaue Rechenschaft gibt, ist der höchst interessante Umstand zu ersehen, daß vorerst Probleme rein physikalischer Natur, oder dem Grenzgebiete zwischen Physik und Chemie entnommen, im Mittelpunkt der Forschungsarbeit des „Vaters der neueren Atomtheorie" stehen. Den Untersuchungen über die Löslichkeit der Gase in Wasser, über die Diffusion der Gase und die Erscheinungen der Wärme, diesen Untersuchungen gegenüber treten vorab die rein chemischen Arbeiten in den Hintergrund. Doch schon im Jahre

[429] ROSCOE und HARDEN a. a. O. S. 17. — [430] New System a. a. O. S. 189. Die zitierte Stelle bildet einen Teil einer Polemik gegen BERTHOLLET.

1803 unternimmt er die ersten eudiometrischen Analysen der Stickstoffsauerstoffverbindungen, um die Anwendbarkeit seiner Theorie von Atomen verschiedener Größe und verschiedenen Gewichtes auf chemische Prozesse zu ermitteln. Neben seinen eigenen Analysen überprüft er die Analysen seiner Vorgänger und seiner Zeitgenossen; er wiederholt den berühmten Versuch CAVENDISH's über die Bildung der Salpetersäure aus Stickstoff und Sauerstoff durch die Wirkung des elektrischen Funkens.[431] Er wird bald der Tatsache inne, daß bei gewissen Versuchen die Mengen Stickoxyd, welche sich mit einem gegebenen Volumen Sauerstoff verbinden, untereinander in einfachen Verhältnissen stehen, und in einer im Jahre 1805 in den Denkschriften von Manchester gedruckten Arbeit findet sich der Ausspruch, daß „die Elemente des Sauerstoffs sich mit einer bestimmten Menge Salpetergas oder mit noch einmal soviel, nicht aber mit einer dazwischenliegenden Menge verbinden. Im ersten Falle ist das Resultat Salpeter-, im letzteren salpetrige Säure".[432] In den Herbst des Jahres 1803 fallen die ersten Anfänge der Arbeiten über die Kohlenwasserstoffe, welche DALTON den einfachen Zusammenhang zwischen der Zusammensetzung des ölbildenden Gases und des Sumpfgases erkennen lassen. Im Spätsommer und Herbst des folgenden Jahres erfahren diese letzteren Arbeiten ihre systematische Erweiterung und Durchbildung; Schritt für Schritt entwickelt sich der Plan zu dem New System of Chemical Philosophy, und vom Jahre 1806 ab ist das Forscherinteresse DALTON's von Studien über die Atomgewichte der Metalle, zunächst der Alkalien und der alkalischen Erden, sodann der übrigen, absorbiert; daran reihen sich fortlaufend systematische Arbeiten aus der Chemie der Salze und der Metalle. Die umfassenden Atomgewichtsbestimmungen mußten DALTON bald vor die Notwendigkeit stellen, neben dem Verbindungsverhältnisse des bestimmten Stoffes mit einem bestimmten Gewichte einer Normalsubstanz auch die Zahl der Atome einer jeden Komponente innerhalb der Verbindung festzulegen. Mit Recht, so bemerkt DALTON[433], habe man bei allen chemischen Untersuchungen es als einen wichtigen Gegen-

[431] CAVENDISH, CRELL's Chem. Annalen 1786, I 99. — [432] ROSCOE u. HARDEN a. a. O. S. 31. — [433] New System a. a. O. S. 237 ff.

stand angesehen, das relative Gewicht der einfachen Körper, welche einen zusammengesetzten bilden, auszumitteln. Allein unglücklicherweise endigte hieran die Untersuchung, obgleich man aus den relativen Gewichten in der Masse auf die relativen Gewichte der letzten Teilchen oder Atome der Körper hätte schließen können, woraus sich ihre Anzahl und ihr Gewicht in verschiedenen anderen Zusammensetzungen ergeben hätte, um künftige Untersuchungen zu unterstützen und zu leiten und ihre Resultate zu berichtigen. Nun sei es eine der Hauptrücksichten seines New System, zu zeigen, wie wichtig und vorteilhaft es sei, auszumitteln: „die relativen Gewichte der letzten Teilchen, sowohl der einfachen als zusammengesetzten Körper; die Anzahl der einfachen, elementarischen Teilchen, welche ein zusammengesetztes Teilchen bilden, und die Anzahl von weniger zusammengesetzten Teilchen, welche in die Bildung eines mehr zusammengesetzten Teilchens eingehen".

„Wenn zwei Körper, wie A und B, geneigt sind, sich chemisch zu verbinden, so ist folgendes die Ordnung, in welcher die Verbindungen stattfinden können, wo mit der einfachsten der Anfang gemacht wurde; nämlich

			Verbindung
Ein Atom v. A	+ 1 Atom v. B	= 1 Atome v. C,	zweifache
Ein Atom v. A	+ 2 Atomen v. B	= 1 Atome v. D,	dreifache
Zwei Atome v. A	+ 1 Atome v. B	= 1 Atome v. E,	dreifache
Ein Atom v. A	+ 3 Atomen v. B	= 1 Atome v. F.	vierfache
Drei Atome v. A	+ 1 Atome v. B	= 1 Atome v. G,	vierfache

u. s. w. u. s. w."

Von den nun folgenden allgemeinen Regeln, welche „als Richtschnur für alle unsere Untersuchungen in Hinsicht der chemischen Synthesis angenommen werden können", seien die vier ersten wiedergegeben:

„Wenn nur eine Verbindung aus zwei Körpern erhalten werden kann, so muß man vermuten, daß dieselbe eine zweifache sey, es sey denn, daß sich eine Ursache zur Annahme des Gegentheils vorfindet.

Werden zwei Verbindungen bemerkt, so muß man vermuten, daß es eine zweifache und dreifache sey.

Werden drei Verbindungen erhalten, so kann man erwarten, daß die eine eine zweifache, die beiden anderen dreifache Verbindungen sein werden.

Werden vier Verbindungen bemerkt, so sollte man eine zweifache, zwei dreifache und eine vierfache Verbindung erwarten und so fort."

Wie ersichtlich, läßt sich Dalton zur Entscheidung der höchst bedeutsamen Frage nach der Zahl der Atome eines jeden Bestandteiles in der Verbindung mit einer gewissen Willkür von einem Prinzip der größten Einfachheit leiten, nach welchem die einfachste Formel auch wahrscheinlich die richtigste ist. Aus der Anwendung der vorstehenden Regeln auf die „chemisch gehörig ausgemittelten Tatsachen" ließen sich die Folgerungen ziehen: daß Wasser eine einfache Zusammensetzung aus Wasserstoff und Sauerstoff, das Ammonium eine zweifache Zusammensetzung aus Wasserstoff und Stickstoff bilde, das Salpetergas eine zweifache Zusammensetzung aus Stickstoff und Sauerstoff, und so fort.

Hat auch die eingehende Geschichtsforschung mit unzweifelhafter Sicherheit festgestellt, daß die Glieder jener logischen Kette, durch welche Dalton zu atomistischen Schlüssen gelangte, fast durchgehends physikalischen Wesens sind, so ist es nichtsdestoweniger einleuchtend, daß das Gesetz der Verbindungsgewichte, welches bekanntlich die Massenverhältnisse der chemischen Verbindungen in der allgemeinsten Weise regelt, wie auch das Gesetz der konstanten und multiplen Proportionen fast mit Naturnotwendigkeit atomistische Vorstellungen nahe legen. Die einfachsten Gewichtsverhältnisse, in denen sich die Elemente verbinden, entsprechen eben den Gewichtsverhältnissen der Atome, welche sich aneinander lagern. In den Rahmen dieses hypothetischen Bildes von den tatsächlichen Verhältnissen chemischer Prozesse fällt auch der Begriff des Dalton'schen Atomgewichtes, der relativen Schwere der kleinsten Teilchen. In der Dalton'schen Fassung bedeutet das Atomgewicht nichts weiter als das relative Gewicht jener kleinsten Menge eines Elementes, die bei allen chemischen Verbindungs- und Zersetzungserscheinungen den Charakter einer

nicht weiter teilbaren Stoffmenge gewinnt. In dieser Weise ist der Begriff des Atomgewichtes direkt aus den stöchiometrischen Grundgesetzen zu folgern, wobei das kleinste Verbindungsgewicht des Wasserstoffes als konventionelle Einheit festgelegt wird. Durch die Verbindung mit dem hypothetischen Begriff der chemischen Affinität wird das Atomgewicht zum Äquivalentgewicht, als der relativen Menge jener Stoffe, welche im Verlaufe chemischer Prozesse einander vertreten können. Die Bestimmung des Atomgewichtes knüpft somit in erster Linie an die experimentelle Erforschung der Gewichtsverhältnisse an, nach denen sich die verschiedenen Stoffe miteinander vereinigen. Doch die Lösung dieser Aufgabe läßt noch immer dem Zweifel Raum, ob das gefundene Gewicht einem oder der Summe mehrerer Atome entspricht. Die empirisch ermittelte stöchiometrische Quantität: Q, ist im allgemeinen dem Produkte n A gleich zu setzen, wobei n die Anzahl der Atome, A das Atomgewicht selbst bedeutet. Die Gleichung Q = n A enthält nun ersichtlich zwei Unbekannte, so daß eine eindeutige Lösung ausgeschlossen erscheint. Es hieße nun die Grenzen unserer Aufgabe, der die Ausbildung des chemischen Atombegriffes durch DALTON als Schlußpunkt gesetzt sein soll, bei weitem überschreiten, wollten wir alle jene Faktoren in Betracht ziehen, welche dem DALTON'schen Atomismus zu Hilfe kamen, als er, kaum geschaffen, in einem der wichtigsten Punkte: die Bestimmung des Atomgewichtes, zu versagen drohte. Mit der Nennung des GAY-LUSSAC'schen Volumgesetzes sowie der Hülfshypothese, welche AMADEO AVOGADRO sowie AMPÈRE zur Deutung dieses Gesetzes ersannen, mit der Nennung des Satzes von DULONG und PETIT, der Entdeckung des Isomorphismus durch MITSCHERLICH, sowie durch den Hinweis auf den mächtigen Einfluß, welchen in späterer Zeit die glänzende Entwicklung der organischen Chemie auf die endgültige Erfassung des Atomgewichtes gewann, sind die wichtigsten Stützen angedeutet, welchen DALTON's Schöpfung die glückliche Überwindung einer schleichenden Krisis im dritten und vierten Dezennium des verflossenen Jahrhunderts verdankt. Die Aufnahme von DALTON's Atomhypothese in den Kreisen der zeitgenössischen Chemiker zu schildern, den Einfluß zu verfolgen, welchen das Lebenswerk BERZELIUS' auf

ihre Weiterentwicklung nahm, sowie die Tragfähigkeit dieser Hypothese in helles Licht zu rücken, welche sie an den Tag legte, als der imposante Bau der organischen Chemie emporzuwachsen begann, all dies gehört der Entwicklungsgeschichte der Chemie im verflossenen Jahrhundert an, deren Skizze von Meisterhand bereits gezeichnet ist.[434]

---

[434] LADENBURG, Vorträge über die Entwicklungsgeschichte der Chemie von LAVOISIER bis zur Gegenwart. 3. Aufl. „Ich habe dieses Buch nur als eine Vorarbeit für eine ausführliche Geschichte der Chemie unserer Zeit betrachtet“, heißt es in der Vorrede. An dieser Stelle möchte auch ganz besonders auf die vorzügliche Darstellung in dem klassischen Buche von ERNST VON MEYER: Geschichte der Chemie, hingewiesen werden.



Qualitative und quantitative Atomistik.
Die Vereinfachung des DALTON'schen Atombegriffes.

Wohl keine der zahlreichen Ideen, welche, dem Geistesleben des Altertums entsprossen, sich auf unsere Tage vererbten, vermochte sich zur Höhe des gleichen Einflusses aufzuschwingen, den die Atomistik auf unsere wissenschaftliche Sinnesart gewann. In dem Charakterbild, welches ihr DALTON verlieh, sind neben dem überwiegenden Einflusse LEUKIPP-DEMOKRIT'scher Vorstellungen die Züge der qualitativen Elementenlehre keineswegs geschwunden, da die Qualitätsverschiedenheit der Atome die oberste Voraussetzung der Atomistik DALTON's bildet. Das zunächstliegende Ziel der Atomhypothese ist die Durchführung der strengsten und einfachsten Anschaulichkeit in der Auffassung chemischer Erscheinungen. So wird die Atomistik zur Quelle eines graphischen, erläuternden Verfahrens der Phasen im Verlaufe chemischer Reaktionen, ohne dessen Mitwirkung die chemische Forschung, zumal in der organischen Chemie, uns undenkbar erscheinen möchte.

Die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit erreicht die Atomhypothese am augenscheinlichsten dort, wo die Entstehung einer total neuen Verbindung durch den Zusammentritt zweier Elemente im einfachsten Falle, etwa des Chlors und des Natriums, in Frage kommt.[435] Die Atomhypothese vermag das Entstehen einer chemischen Verbindung nur als bloße Anhäufung und Trennung einer Anzahl von Stoffen in anschaulicher Weise und unter Berücksichtigung der Gewichtsverhältnisse und im speziellen Falle auch der Volumverhältnisse zu deuten. „Die Wissenschaft hat erwiesen, daß diese (chemischen) Elemente wirklich

[435] Siehe hierzu auch S. 10 Fußnote 6.

unzerstörbar sind, unveränderlich in ihrer Masse, unveränderlich auch in ihren Eigenschaften, insofern als sie aus jedem Zustande, in den sie übergeführt worden sind, immer wieder ausgeschieden und auf dieselben Eigenschaften zurückgeführt werden können, die sie früher irgend einmal in isoliertem Zustande gehabt haben. In allem bunten Wechsel der Erscheinungen der belebten und unbelebten Natur, so weit sie uns zugänglich sind, in allen den überraschenden Resultaten chemischer Zersetzung und Verbindung, deren Anzahl und Mannigfaltigkeit unsere Chemiker mit unermüdlichem Fleiße jedes Jahr in steigendem Maße vermehren, herrscht das eine Gesetz von der Unveränderlichkeit der Stoffe mit ausnahmsloser Notwendigkeit. . . . An diese Konstanz der Elemente schließt sich eine andere weitergehende Folgerung. Die Chemie erwies durch tatsächliche Untersuchung, daß alle Masse aus den von ihr gefundenen Elementen zusammengesetzt ist. Die Elemente können ihre Verbindungen und Mischung untereinander, die Art ihrer Aggregation oder ihrer Molekularstruktur mannigfach verändern, das heißt, sie können die Art ihrer Verteilung im Raume verändern. Dagegen zeigen sie sich als durchaus unveränderlich in ihren Eigenschaften, das heißt, wenn sie in dieselbe Verbindung, beziehlich Isolierung, und dieselbe Aggregation zurückgeführt werden, zeigen sie immer wieder dieselben Eigenschaften. Sind aber alle elementaren Substanzen unveränderlich nach ihren Eigenschaften und nur veränderlich nach ihrer Mischung, nach ihrer Aggregation, das heißt nach ihrer Verteilung im Raume, so ist alle Veränderung in der Welt Änderung der räumlichen Verteilung der elementaren Stoffe und kommt in letzter Instanz zustande durch Bewegung.“[436] Diese streng mechanistische Auffassung der chemischen Prozesse, die einfach zu Transformationen der Elemente werden, läßt offenbar die Tatsache völlig außer Auge, daß das Produkt einer chemischen Verbindung Eigenschaften besitzt, welche im Gegensatze zur bloßen Mischung sich weder der Summe noch dem Mittel aus den Eigenschaften seiner Komponenten nähern; nur das Gewicht der entstandenen Verbindung, als Summe aus den Gewichten

[436] Helmholtz, Eröffnungsrede der Naturforscherversammlung in Innsbruck 1869. Popul.-wissenschaftl. Vorträge, Heft 2 S. 192.

der Komponenten, bildet die einzige Gleichheitsbeziehung zwischen Anfangs- und Endprodukten einer chemischen Synthese. Sowohl innerhalb des Gemisches als auch der Verbindung bleiben die einzelnen Elemente ihrer Masse und ihren Eigenschaften nach völlig unangetastet, der elektrische Strom vermag sowohl das Chlor als das Natrium zu regenerieren; es leuchtet somit ein, daß im Ideenkreise der Atomhypothese jener Widerspruch keine Lösung findet, der sich zwischen der rein mechanistischen Auffassung chemischer Prozesse, als der bloßen Anhäufung und Trennung von Stoffmassen, und der grundlegenden Verschiedenheit in den Eigenschaften der Verbindung im Vergleich zu jenen ihrer Komponenten ergibt. Dem äußeren Anscheine nach verschwinden die Elemente tatsächlich im Verlaufe ihrer Aufeinanderwirkung und lassen einen gänzlich neuen Körper entstehen, wobei in der überwiegenden Zahl der Fälle eine Veränderung des Volumens und in allen Fällen eine Entwicklung oder ein Verbrauch von Wärme oder einer anderen Form von Energie nebenher geht. Es ist nun desgleichen ersichtlich, daß die atomistische Hypothese allein keinerlei Erklärung für die Begleiterscheinungen chemischer Prozesse: die Volumsänderung, etwa die Kontraktion beim Zusammentritt von Stickstoff und Wasserstoff, sowie den Verbrauch oder die Entwicklung von Energie zu bieten vermag. Inwiefern Hülfshypothesen zur Erklärung dieser zweiten Klasse von Erscheinungen der Atomhypothese zur Seite treten, mag an dieser Stelle nicht weiter erörtert werden.

Ein prinzipieller Unterschied zwischen der Atomistik DALTON's und der LEUKIPP-DEMOKRIT'schen ergibt sich dadurch, daß die erstere die Raumgestalten der Atome als gleich setzt, indem sie ihnen Kugelform verleiht, jedoch die Substanz der Atome als qualitativ verschieden betrachtet, während der letzteren die Annahme qualitativ gleicher, doch verschiedengestalteter Atome zugrunde liegt. Es entbehrt nun der Gedanke nicht des Interesses, daß in neuerer Zeit sich innerhalb der Chemie wiederum eine Annäherung an die antike Atomistik vollzieht, indem im Anschlusse an stereochemische Forschungen, Bestrebungen sich kundgeben, die wesentlichsten chemischen Eigenschaften der Elemente und ihrer Verbindungen aus bestimmten Voraussetzungen

über die Form der Atome und die hiervon abhängige räumliche Anordnung der Atome im Moleküle abzuleiten.[437] Außer dem Atomgewicht und dem Atomvolumen (dem Raume, welchen die Masse des Atoms erfüllt, gleich dem Quotienten aus dem Atomgewicht durch die Dichte des Elementes gegen Wasser) sind Valenz, Aggregatzustand, Durchsichtigkeit, Leitfähigkeit und viele andere Umstände, das gesamte chemische Verhalten des fraglichen Stoffes betreffend, für die Wahl einer bestimmten Form des Atoms von ausschlaggebender Bedeutung. Trotz dieses großen Umfanges der die Atomform im allgemeinen determinierenden Faktoren, sind immerhin einige nähere Anhaltspunkte gegeben, namentlich durch die Beobachtung der wechselnden Valenzen, nach denen sich die Elemente verbinden, sowie der optischen Isomeriefälle. So werden dem Kohlenstoff- und dem Boratom Tetraederform zugeschrieben, dem Wasserstoffatom ellipsoidähnliche Formen, die Gestalten des Stickstoff-, des Sauerstoff-, wie des Phosphoratomes sind dagegen viel komplizierter in ihrem Aufbau, während zu einer brauchbaren figürlichen Darstellung der Halogen- und der Metallatome noch weitere Grundlagen ermangeln. Im Zusammenhange hiermit wäre auch nebenher die Hypothese zu erwähnen, welche VAN'T HOFF[438] zur Erklärung der wechselnden Valenzen aufstellte, indem diese Hypothese den Atomen eine Gestalt zuschreibt, welche von der Kugelgestalt abweicht, so daß die chemische Anziehung, als Folge der allgemeinen Gravitation betrachtet, auf der Oberfläche des Atomes eine bestimmte Anzahl Maxima besitzen muß.

Diesen Bestrebungen jüngeren Datums, wie sie auf stereochemischen Forschungen fußen, ist das Ziel gesteckt, durch eine tiefere Einsicht in die Natur des chemischen Atomes zu einem Atombegriff zu gelangen, auf dessen Grundlage nicht nur eine Ableitung der Eigenschaften einer chemischen Verbindung aus der Natur und der räumlichen Anordnung ihrer Atome, sondern auch die Deduktion der Eigenschaften der Elemente selbst möglich wäre. Über dieses Ziel hinaus erstreckt sich die Aussicht, auf dem weiteren Wege zu einer näheren Beziehung des chemi-

[437] VAUBEL: Stereochemische Forschungen sowie VAUBEL: Lehrbuch der theoretischen Chemie I 27. — [438] Ansichten über die organische Chemie I 3.

schen Atombegriffes zum allgemein physikalischen Atombegriff zu gelangen, der von einer qualitativen Verschiedenheit der einzelnen Atome zu abstrahieren vermag; dadurch wäre die Kluft zu überbrücken, welche die Chemie von den übrigen Zweigen der Naturwissenschaft trennt, die auf rein mechanistischer Basis aufgebaut sind. Denn mit der Wiedererweckung der antiken Atomistik, als die Physik den Bannkreis metaphysisch-scholastischer Spekulationen verließ, folgte dieser entscheidenden Tat bald die Lehre auf dem Fuße, daß jeder physikalische Vorgang mechanischer Natur sei. Wir sahen, wie der Same, den GASSENDI[439] mit der Neubelebung der Atomistik EPIKUR's ausgestreut hatte, bald in die Halme schoß, indem die Darstellung eines strengen Kausalzusammenhanges des Naturgeschehens auf rein materialistisch-mechanistischer Grundlage angebahnt wurde. So entwerfen bereits DESCARTES und BOYLE in ihren naturphilosophischen Systemen ein rein mechanisches Weltbild (freilich nicht ohne stark religiösen Einschlag), in dessen Rahmen alle Verschiedenheiten der materiellen Körperwelt durch Unterschiede in der Gruppierung von Ureinheiten bedingt, alle Veränderungen in der Welt der Erscheinungen auf die Bewegung unveränderlicher Teilchen zurückgeführt sind. Im Lichte dieser Auffassung wird augenscheinlich jeder qualitative Unterschied zu einem bloß quantitativen. Der seitherige Entwicklungsgang der Naturwissenschaft ist von diesen Grundlagen nicht abgewichen. Die rein mechanistisch-materialistische Naturauffassung, die Herrschaft des Begriffes der strengsten Kausalität, haben ihre Signatur auch der machtvollen Entwicklung der Naturwissenschaft im verflossenen Jahrhundert aufgedrückt, welches mit seinem Anbruche auch die Chemie auf jene mechanistisch-atomistischen Fundamente postierte, deren endgültige Ausprägung sich an den Namen DALTON unsterblich knüpft. Wie erinnerlich, erklärt DALTON[440]: Alle Veränderungen, welche wir hervorzurufen vermögen, bestehen in der Trennung von Atomen, und in der Wiedervereinigung solcher Atome, die vorher geschieden waren. Zu gleicher Zeit wird aber die Chemie in einen Gegensatz zur physikalischen Atomistik gebracht, da die Chemie mit körperlichen Atomen rechnet, denen

[439] Vergl. S. 152 ff. — [440] Vergl. S. 207.

verschiedene, nicht näher zu definierende, qualitative Eigenschaften beigelegt werden. DALTON's Atomistik ist, wie schon vorhin angedeutet, ein Übergangsglied zwischen LEUKIPP-DEMOKRIT'scher Atomistik und qualitativer Elementenlehre. „Die abweichenden Eigenschaften der Materie verlegt die Chemie noch jetzt in eine ursprüngliche qualitative Verschiedenheit der Atome. Nun geht offenbar die ganze Entwicklung der physikalischen Atomistik darauf aus, alle quantitativen Eigenschaften der Materie aus den Bewegungsformen der Atome abzuleiten. Die Atome selbst bleiben so notwendig als vollkommen qualitätslose Elemente zurück."[141] Eine Ausgleichung dieses Gegensatzes könnte dann geschehen, wenn die chemische Atomistik einer Erweiterung in der Art fähig wäre, daß auch ihre Atome nur als Gruppierungen qualitätsgleicher Urpartikeln aufzufassen sind. Ist nur ein einziges Uratom vorhanden, ein einziger Urstoff, dessen allotrope Modifikationen im gewissen Sinne die chemischen Elemente darstellen, dann ist die qualitative Atomistik der Chemie in eine quantitative Atomistik überführt, wobei sie der verschiedenen Schwere der einzelnen Atome in der Art Rechnung tragen könnte, daß sie den Urpartikelchen innerhalb der Atome verschiedene Bewegungszustände zuschriebe. Ist die Geschwindigkeit der Bewegung, welche gewisse Urteilchen von aller Anfang an besitzen, eine größere als die anderer, dann vermögen jene einen größeren Raum einzunehmen als Urteilchen geringerer Geschwindigkeit; im ersteren Falle wird somit die Dichte des betreffenden Stoffes eine geringere sein als im zweiten. Mit diesen Annahmen ist die Gesamtheit der chemischen Erscheinungen auf ein einziges Prinzip: die Bewegung der Partikeln eines Urstoffes, zurückgeführt. An Ansätzen zur Ausgleichung des Gegensatzes, welcher sich zwischen den rein kausal-mechanischen Zweigen der Naturwissenschaft und der Chemie als der Wissenschaft von den qualitätsverschiedenen Atomen ergibt, hat es im Gebiete der Chemie selbst nicht gefehlt. Es ist von großem Interesse zu sehen, wie fast in demselben Momente, da mit der DALTON'schen Atomistik das Streben nach einer einfachen und anschaulichen

[141] WUNDT, Die Theorie der Materie. Deutsche Rundschau, Dezember 1875 S. 381.

Versinnlichung der chemischen Erscheinungen zum Siege gelangt, diesem Streben alsbald sich das weitere Ziel erschließt, über das chemische Atom hinaus noch eine viel größere Einfachheit in Bezug auf die letzten Voraussetzungen zur Erklärung der chemischen Erscheinungen dadurch zu erreichen, daß den letzteren bloß wechselnde Gruppierungen und Bewegungen eines Urstoffes zugrunde gelegt werden. So sind kaum die ersten Atomgewichte festgelegt, als PROUT (1815) die Hypothese ausspricht, daß der Wasserstoff selbst der Urstoff sei, durch dessen weitere Verdichtung alle übrigen Elemente sich gebildet hätten, denn die verschiedenen Atomgewichte seien ganze Multipla vom Atomgewichte des Wasserstoffes.[442] PROUT's Hypothese hat den stöchiometrischen Prüfungen, denen sie durch BERZELIUS, TURNER, MARIGNAC und STAS unterworfen wurde, nicht Stand halten können.[443] Mit der Erkenntnis, daß die Atomgewichte der Elemente nur angenähert rationale Vielfache vom Atomgewichte des Wasserstoffes sind, ist PROUT's Hypothese unvereinbar. Das chemische Atom wäre dann nicht nur aus ganzen Wasserstoff-Urpartikeln, sondern auch aus Bruchteilen derselben aufgebaut. Der Begriff des Urstoffes aber schließt jede weitere Teilung der Wasserstoffpartikel aus. PROUT's Idee steht überdies nicht vereinzelt da. Unabhängig von PROUT regte MEINEKE[444] 1818 in Deutschland die gleiche Hypothese an. TH. THOMSON vermutete, daß dem Sauerstoff die Rolle des Urstoffes zuzuweisen sei. Ihre Nahrung erhielten diese Spekulationen ihrer Zeit durch DAVY's Entdeckung der Zerlegbarkeit der Alkalien und Erden durch den galvanischen Strom; die epochalen Arbeiten über diesen Gegenstand fallen in die ersten dreizehn Jahre des 19. Jahrhunderts. Versuche zur Neubelebung der PROUT'schen Hypothese sind in neuerer Zeit von J. THOMSEN und LECOQ DE BOISBAUDRAN unternommen worden.

[442] Die Geschichte dieser Hypothese siehe KOPP, Geschichte der Chemie II 391 ff. und OSTWALD: Lehrbuch der allgem. Chemie 2. Aufl. I 126 ff. — [443] Vergl. zum folgenden: LOTHAR MEYER: Die modernen Theorien der Chemie, 5. Aufl. S. 129 ff., sowie VICTOR MEYER: Probleme der Atomistik. Vortrag gehalten auf der Naturforscherversammlung zu Lübeck, 1895. RUDORF: Das periodische System, seine Geschichte und Bedeutung für die chemische Systematik. Deutsche Ausgabe von RIESENFELD. 1904. — [444] Journal für Chemie und Physik, herausgegeben von SCHWEIGGER 22 138.

THOMSEN suchte durch eine Berechnung darzutun, daß die Abweichungen von ganzen Zahlen, welche einige mit besonderer Genauigkeit bestimmte Atomgewichte aufweisen, in einer einfachen zahlenmäßigen Beziehung zueinander stehen; die Atomgewichte sind durch die Formel darstellbar: $M = N + n\alpha$, wobei N und n ganze Zahlen sind und für α in vielen Fällen der Bruch 0·012 zu setzen ist. LECOQ DE BOISBAUDRAN sucht die PROUT'sche Hypothese dadurch zu erweitern, daß er einen kleinen Bruchteil vom Atomgewichte des Wasserstoffes als natürliche Einheit der Reihe der chemischen Elemente zugrunde legt, was ersichtlich ein Aufgeben der Einfachheit der ursprünglichen Hypothese bedeutet. Weitere Spekulationen, welche an die PROUT'sche Hypothese anknüpfen, sowie Untersuchungen über die Tendenz der Atomgewichte, ganzen Zahlen sich zu nähern, sind von RUDOLPHI[445] kritisch zusammengefaßt worden. Abgesehen von der Unhaltbarkeit vieler Spekulationen, gestattet auch die Behandlung der Frage nach der Annäherung der Atomgewichte an ganze Zahlen von rein mathematischen Gesichtspunkten aus dem Zweifel reichlichen Spielraum, ob die Auffassung der Atomgewichte als Vielfache einer Grundatomgewichtszahl irgendwelche Berechtigung in sich trägt. Die Untersuchungen, welche in jüngster Zeit von LANDOLT zur Prüfung jener Ursachen durchgeführt wurden, die in der Lage wären, eine Differenz zwischen den Atomgewichten und den nächstliegenden ganzen Zahlen hervorzurufen, sind schon bei früherer Gelegenheit des eingehenden beschrieben worden.[446] Wie erinnerlich, kommt LANDOLT zu dem Schlusse, daß die seiner ganzen Arbeit zugrunde gelegte Frage, ob die Abweichungen der Atomgewichte von ganzen Zahlen etwa davon herrühren, daß bei den chemischen Umsetzungen der Stoffe eine gewisse Menge wägbaren Äthers ein- oder austritt, im verneinenden Sinne zu entscheiden ist. Damit schließt sich nach LANDOLT's Anschauung der letzte Ausweg, welcher der PROUT'schen Hypothese noch offen geblieben war.

Eine große Zahl von ernsten Bemühungen, den chemischen Atombegriff durch Auflösung des Atoms in Partikelchen eines Urstoffes zu vereinfachen, läßt sich zu einer Gruppe zu-

[445] Chemiker-Zeitung, Cöthen 1901, 1133. — [446] Vergleiche S. 17 ff.

sammenfassen, wenn sie unter dem Gesichtswinkel der logischen Verfahrungsweise betrachtet werden, die ihnen gemeinsam ist.[447] Sie stützen sich in erster Linie auf den Nachweis von Analogien in dem Verhalten gewisser Elemente und demjenigen der chemischer Verbindungen. Es ist somit der Analogieschluß, welcher in allen diesen Fällen zur mehr oder minder begründeten Wahrscheinlichkeit führt, welche für die Annahme einer zusammengesetzten Natur der Elemente in die Wagschale fällt. In erster Linie drängt sich eine überraschende Analogie zwischen dem Verhalten von Elementen und molekularen Verbindungen auf, sofern die regelmäßig steigenden Molekulargewichte in den homologen Reihen organischer Verbindungen den Atomgewichten gewisser Gruppen untereinander nahe verwandter Elemente gegenübergestellt werden. In ähnlicher Weise, wie etwa die Molekulargewichte des Methans, des Äthans und des Propans in arithmetischer Progression um die Differenz CH_2 steigen, stellt auch die Triade: Lithium, Natrium, Kalium, die drei ersten Glieder einer arithmetischen Reihe, mit der Differenz von rund 16, dar. Dem Gewichte nach steht das Natriumatom in der Mitte zwischen dem Atom des Lithiums und des Kaliums, dieser Tatsache analog ist das chemische Verhalten des Natriums, das in allen Beziehungen zwischen demjenigen des Lithiums und des Kaliums die Mitte hält. Diese Erwägungen, und namentlich die Analogie mit der Steigerung der Molekulargewichte in den homologen Reihen, rücken den Gedanken in die Nähe, daß das Natriumatom nichts anderes sei als ein Kompositum eines Lithiumatomes und eines noch unbekannten Etwas vom Gewichte 16, und ebenso das Kalium aus Natrium durch abermaliges Hinzufügen jenes 16-Gewichtes entstehe. Ähnliche Betrachtungen lassen sich für die übrigen Triaden, das heißt Gruppen von je drei Elementen ähnlichen chemischen Charakters, durchführen.

Die Regel von den Triaden, die Hypothese, daß das zweite und dritte Element einer Triade aus dem ersten derselben durch einmaliges oder zweimaliges Hinzufügen derselben Gewichtsmenge eines unbekannten Urstoffes entstehe, wurzelt in dem Gedanken Döbereiner's: zwischen den Atomgewichten des Calciums,

[447] Vergleiche hierzu Wundt: Logik II,1 S. 507.

des Baryums und des Strontiums (welche DÖBEREINER 1817 mit 20,425 und 65 ansetzt), eine Beziehung insofern festzustellen, als das Atomgewicht des Strontiums genau das arithmetische Mittel aus demjenigen des Calciums und des Baryums ist. Späterhin hat DÖBEREINER[448] derartige Gruppen, welche er mit dem Namen Triaden belegte, zusammengestellt. Seit dieser Zeit (1829) ist die Regel von den Triaden des öfteren Gegenstand wissenschaftlicher Diskussion gewesen, umsomehr als diese Regel durch die Entdeckung neuer Elemente, wie des Rubidiums und des Cäsiums, des Skandiums, des Indiums und des Galliums eine weitere Stütze fand. Ihr historisches Interesse gewinnt die Triadenregel im Verein mit der etwas allgemeineren Idee PETTENKOFER's[449] und anderer Forscher, die Atomgewichte gesetzmäßig zu ordnen, entweder in einfachen arithmetischen Reihen oder in komplizierteren Reihen mit mehrfachen Inkrementen; denn der ganze Komplex dieser Spekulationen erweitert sich schließlich zu jener allgemeinen Theorie, welche in Form des periodischen Gesetzes die Gesamtheit der chemischen Elemente umfaßt, da sie die Eigenschaften eines jeden einzelnen Gliedes dieser Gesamtheit als Funktion seines Atomgewichtes aufzufassen lehrt. Das wohlgeordnete Gefüge der chemischen Elemente, das uns im periodischen System dargeboten wird, ist von der Erkenntnis der Zusammengehörigkeit aller chemischer Elemente zu einer Reihe getragen, woran sich noch viel fester, als es an die Idee der Triaden möglich war, die Überzeugung zu knüpfen vermag, daß den Elementen ein gemeinsames Etwas innewohne.

Unter all den Eigenschaften der Elemente, welche nach der Grundidee des periodischen Systems im nahen Zusammenhange mit dem Atomgewichte stehen, ist die Dichtigkeit der Elemente im starren Zustande mit einiger Genauigkeit zu messen. Sie erweist sich deutlich als eine periodische Funktion des Atomgewichtes, indem sie mit steigendem Atomgewichte regelmäßig ab- und zunimmt. Am übersichtlichsten läßt sich diese nahe Beziehung in der Art darstellen, daß man den Quotienten aus dem

---

[448] Siehe OSTWALD's Klassiker Nr. 66: Die Anfänge des natürlichen Systems der chemischen Elemente. Abhandlungen von J. W. DOEBEREINER (1829) und MAX PETTENKOFER (1850). — [449] loc cit.

Atomgewicht durch die Dichte, bezogen auf Wasser, das sogenannte Atomvolumen, berechnet, das heißt den Raum ins Auge faßt, welchen die Masse eines Atomes erfüllt. Da das Atomgewicht hierbei nur in Bezug auf seinen relativen Wert gegenüber einer festgelegten Einheit bestimmt wird, so haftet auch dem Atomvolumen naturgemäß dieser relative Charakter an: es mißt das Volumen irgendeines Atomes lediglich in Bezug auf das Volumen eines bestimmten Atomes, das als Einheit betrachtet wird. Dieser Begriff des Atomvolumens ist nun zur Herstellung weiterer Analogien zwischen Elementen und Verbindungen angewandt worden. Das Bestreben ging dahin, einen allgemeinen Ausdruck zu finden, welcher über ein analoges Verhältnis zwischen Atomvolumen und Molekularvolumen Rechenschaft gibt, wie es zwischen Atom- und Molekulargewicht besteht, das heißt, es sollte untersucht werden, ob das Molekularvolumen als Summe der Atomvolume der Bestandteile einer Verbindung aufzufassen sei. Die Bearbeitung dieser Frage[450] hat seit ihrem Anstoß durch Kopp (1842) bis auf die neueren Untersuchungen von Lossen und seinen Schülern, sowie den beiden Schülern Lothar Meyer's: Feitler und Neubeck, eine lange und wechselreiche Geschichte. Wohl läßt sich nach dem Gesamtergebnis der jahrzehntelangen Forschung der Versuch unternehmen, bei Stoffen von analoger Konstitution summatorische Ausdrücke für die angegebene Beziehung zu ermitteln, doch ein allgemeiner Ausdruck für das Molekularvolumen als Summe der Atomvolume der Elemente einer Verbindung, läßt sich nicht aufstellen. Denn neben der Natur der Atome ist die Konstitution der Verbindung, das heißt die spezielle Anordnung der Atome in der Molekel, von weitgehendem Einflusse auf den Wert des Molekularvolumens; konstitutive Einflüsse durchkreuzen jede einfache und allgemeine Beziehung zwischen Molekular- und Atomvolumen.

Sind somit nur dürftige Anhaltspunkte für einen Analogieschluß zwischen Molekular- und Atomvolumen vorhanden, so ergeben sich in anderer Art gesetzmäßige Beziehungen zwischen Atomvolumen und Atomgewicht, welche den Gedanken eines molekularen Gefüges der Atome nahelegen. Wäre das Atom einfach

[450] Vergleiche hierzu Ostwald a. a. O. S. 356 ff.

die Summe aus gleichartigen Uratomen, dann stünde eine gewisse Proportionalität zwischen Atomvolumen und Atomgewicht zu erwarten; wenn von der Eigenbewegung der Uratome selbst Abstand genommen wird, müßte die größere Zahl der Uratome, das heißt das chemische Atom von größerem Gewicht, einfach den größeren Raum einnehmen. Hat sich diese Erwartung selbst auch keineswegs erfüllt, so zeigen die Veränderungen, welche das Atomvolumen mit steigendem Atomgewichte erfährt, eine ganz auffällige Periodizität. In der Reihe der Elemente, geordnet nach der Größe des Atomgewichtes, erfährt das Atomvolumen eine periodische und allmähliche Ab- und Zunahme, so daß die Abhängigkeit des Atomvolumens vom Atomgewicht durch eine graphische Darstellung ersichtlich zu machen ist. Werden die Atomgewichte auf eine Abszissenlinie aufgetragen und die zugehörigen Atomvolume als Ordinaten, so wachsen diese letzteren zwar nicht proportional den Abszissen, wie es der vorhin erwähnten Erwartung von dem einfachen Charakter des Atoms als räumliche Summe der Uratome entsprechen würde, doch ergibt die Verbindung ihrer Endpunkte eine in mehreren aufeinanderfolgenden Wellenlinien auf- und absteigende Kurve. Aus dem Verlaufe dieser Kurve ist sofort ersichtlich, daß die Raumerfüllung der Atome eine periodische Funktion der Atomgewichte darstellt. Die Stellung der Elemente auf der Kurve steht mit den physikalischen und chemischen Eigenschaften derart im Zusammenhange, daß die korrespondierenden Punkte ähnlicher Kurvenäste auch ähnliche Elemente aufweisen, wobei die leichten Metalle: Lithium, Natrium, Kalium, Rubidium, den Gipfelpunkten, die schweren Metalle, der Kohlenstoff und das Silizium, den Tiefpunkten der Kurve entsprechen. Im ersteren Falle ist somit die Stoffverdichtung am geringsten, im letzteren am größten, und zwar im Verhältnis zum Atomgewicht, respektive zu der Anzahl von Uratomen, welche im chemischen Gesamtatom vorauszusetzen ist. So vermag die Idee, daß die einzelnen Atome in ihren charakteristischen Eigenschaften durch die gesetzmäßige Gruppierung gleichartiger Uratome begründet sind, neben den regelmäßigen Differenzen in den Atomgewichten auch Stützpunkte in den Beziehungen zu finden, welche zwischen Atomvolumen und Atomgewicht vorhanden sind.

An die Voraussetzung von dem gesetzmäßigen Aufbau des chemischen Atomes aus völlig identischen Uratomen knüpft sich des weiteren die Annahme, daß auch die physikalischen Eigenschaften der Elemente, die Dehnbarkeit, Schmelzbarkeit und Flüchtigkeit, sowie die Kristallform und die Ausdehnung durch die Wärme, welche beide letztere Eigenschaften mit den drei erstgenannten in einem nahen, jedoch nur teilweise erforschten Zusammenhange stehen, eine gewisse Beziehung zur Verbindungsweise der Uratome, sowie zu ihrer Verdichtung im chemischen Atome aufweisen werden. Daran schließen sich das Lichtbrechungsvermögen, die Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität und die magnetischen Eigenschaften. Derartige Beziehungen lassen sich — wenn auch nicht in vollem Maße — insofern nachweisen, als den entsprechenden Punkten auf der Kurve, welche das Verhältnis zwischen Atomgewicht und Atomvolumen darstellt, Elemente von analogen physikalischen Eigenschaften zukommen. So zeigt namentlich die Schmelzbarkeit der Elemente, als Funktion des Atomgewichtes betrachtet, eine Periodizität, welche der des Atomvolumens und der Dehnbarkeit vollständig entspricht, und auch die Leitungsfähigkeit für Wärme und Elektrizität zeigt in ihrem innigen Zusammenhange mit der Dehnbarkeit der Elemente eine Periodizität, welche mit der des Atomvolumens koinzidiert.

Nur in einem Falle versagt eine direkte Periodizität zwischen Atomgewicht und physikalischer Eigenschaft: es ist das thermische Verhalten der Elemente. Im Jahre 1819 zeigten Dulong und Petit[451] durch sorgfältige Messungen der spezifischen Wärme von dreizehn Elementen, daß diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, um die Temperatur der Gewichtseinheit dieser Elemente um 1° C. zu erhöhen, dem Atomgewichte umgekehrt proportinal ist, so daß die Produkte aus den Wärmekapazitäten in die Atomgewichte, die Atomwärmen, konstant sind. Dulong und Petit zogen aus ihren Messungen den gewichtigen Schluß: „daß die Atome aller einfachen Körper genau dieselbe Kapazität für die Wärme besitzen". Spätere, eingehende Forschungen haben den Gültigkeitsbereich dieses empirisch gefundenen Gesetzes durch die Erkenntnis eingeschränkt, daß die Atomwärmen in allgemeiner

[451] Annal. de Chim. X/395.

Weise für die Gesamtheit der Elemente (oder vielleicht auch nur für alle nicht metallischen Elemente) bloß innerhalb eines bestimmten Temperaturintervalles die geforderte Konstanz erreichen. Innerhalb dieses Intervalles variieren die spezifischen Wärmen der Elemente nur in geringem Maße mit der Temperatur, während sie außerhalb dieses Intervalles eine rasche Zunahme mit steigender Temperatur erfahren. Im mechanischen Sinne gedeutet, gibt das DULONG-PETIT'sche Gesetz der Anschauung Raum, daß den Atomen bei gleicher Wärmezufuhr die gleiche Energie der Schwingungsbewegung mitgeteilt wird. Ähnlich wie im gasförmigen und flüssigen Zustande, wäre somit das physikalische Verhalten der Stoffe auch im starren Zustande gleichförmig nur von der Anzahl, nicht von der Beschaffenheit der Atome abhängig. Diese Anschauung schließt jedoch die Voraussetzung ein, daß das DULONG-PETIT'sche Gesetz auch in Bezug auf Moleküle seine Bedeutung beibehalten werde. Ihre Verwirklichung findet diese Voraussetzung in dem von NEUMANN[452] (1831) aufgefundenen Satze, daß auch äquivalente Mengen analog zusammengesetzter Verbindungen gleiche Wärmekapazität besitzen, wobei diese Gleichheit nicht etwa bedingt wird durch dieselbe Kristallform, welche ähnlich zusammengesetzte Stoffe häufig aufweisen, da auch dieselben Verbindungen in verschiedener Kristallgestalt (zum Beispiel Kalkspat und Arragonit) die gleiche Kapazität aufweisen. Das Gesetz von NEUMANN ist somit „an die chemische Masse gebunden" und nicht von der Kristallform abhängig. Auf Grund einer umfassenden Bestätigung sprach ferner REGNAULT[453] den allgemeinen Satz aus: In allen Verbindungen von gleicher atomistischer Zusammensetzung und ähnlicher chemischer Konstitution verhalten sich die spezifischen Wärmen umgekehrt wie die Atomgewichte. Dieser Satz weist Abweichungen von ähnlicher Art und von ähnlichem Betrage auf, wie das DULONG-PETIT'sche Gesetz.

Zur Erklärung der auffälligen Ausnahmen, welche einige Elemente in ihren Atomwärmen aufweisen, hat KOPP eine Hypothese aufgestellt, in welcher die Analogie im thermischen Verhalten

[452] POGGENDORF's Annal. 23 1. — [453] OSTWALD a. a. O. S. 973 ff.

des Moleküls und des Atoms verwertet erscheint. Denn KOPP[454] weist auf die Tatsache hin, daß nach dem NEUMANN'schen Gesetze die Molekularwärme mehr oder weniger genau einen Maßstab für die Komplikation der Zusammensetzung, für die Zahl der unzerlegbaren Atome liefert. Dies gilt auch für solche Verbindungen, welche, ihrem chemischen Verhalten nach, unzerlegbaren Körpern vergleichbar sind. Wäre das Ammonium oder das Cyan noch nicht zerlegt, oder für die jetzigen Hülfsmittel der Chemie nicht zerlegbar, so würden zwei Faktoren auf die kompliziertere Natur der beiden sogenannten zusammengesetzten Radikale hinweisen. Fürs erste die Atomwärme der Cyan- und Ammoniumverbindungen, welche die der analogen Kalium- oder Chlorverbindungen übersteigt, fürs zweite die indirekt abgeleitete[455] Atomwärme der beiden Radikale selbst. KOPP erscheint nun die Folgerung zulässig, daß auch die direkt oder indirekt ermittelten Atomwärmen der sogenannten Elemente einen Maßstab für die Komplikation der Zusammensetzung des betreffenden Elementaratomes geben. Der Kohlenstoff und der Wasserstoff seien zum Beispiel wenn nicht selbst wirklich einfache Körper, so doch einfachere Verbindungen unbekannter Elemente, als das Silizium oder der Sauerstoff; noch kompliziertere Verbindungen seien die Elemente, welche man jetzt als dem DULONG-PETIT'schen Gesetze annähernd folgend betrachten darf. (Die Kapazität des Kohlenstoffatoms berechnet KOPP indirekt zu etwa 1·8, jene des Wasserstoffatoms zu etwa 2·3, während die indirekte Ableitung bezüglich des Sauerstoff- und des Siliziumatoms die Kapazität in beiden Fällen zu etwa 4 liefert.) So könne die Betrachtung der Atomwärmen, bemerkt KOPP, etwas aussagen über die Struktur eines zusammengesetzten Atoms, aber im allgemeinen keine Auskunft geben über die qualitative Natur der zur Konstruktion des zusammengesetzten Atoms verwendeten einfachen Stoffe. In der

[454] Annal. der Chemie 1864/65, 3. Supplem. Band S. 336: Betrachtungen über die Natur der chemischen Elemente. — [455] Die indirekte Ableitung der Atomkapazität eines nicht isolierten Elementes erfolgt nach KOPP aus der Wärmekapazität einer Verbindung dieses Elementes, indem von dieser letzteren Wärmekapazität die direkt gemessene Kapazität der übrigen in der Verbindung vorhandenen Elemente subtrahiert wird. Siehe Annal. d. Chem. B. 126 S. 362 ff.

Sache selbst liege es, daß mit den Vermutungen über die Natur der sogenannten Elemente der sichere Boden des Tatsächlichen und des empirisch Beweisbaren verlassen werde.

Ein Jahrzehnt nach Aufstellung der Kopp'schen Hypothese haben die bekannten Untersuchungen Weber's und anderer Forscher den tiefgehenden Einfluß der Temperatur auf die Wärmekapazität jener Elemente klar gelegt, welche Abweichungen vom Dulong-Petit'schen Gesetze aufweisen, so namentlich des Siliziums, des Bors und des Kohlenstoffs. Mit diesen Ergebnissen ist nun die Hypothese Kopp's derart in Einklang zu bringen, daß für das chemische Atom die Voraussetzung getroffen wird, es sei aus Urpartikelchen zusammengesetzt, welche bei niederer Temperatur ein einziges, zusammenhängendes Massensystem bilden, dessen Teile jedoch mit wachsender Temperatur in immer kleineren Gruppen eine zunehmende Beteiligung an den Wärmeschwingungen aufweisen, bis sich oberhalb eines bestimmten Temperaturniveaus jedes der Urpartikelchen für sich unabhängig von den übrigen bewegt. In Temperaturgebieten nun, innerhalb welcher die Atome dem Gesetze von Dulong und Petit nicht folgen, schwingen die Urpartikelchen in Gruppen, deren jede zur Erhöhung ihrer Temperatur um einen Grad, nicht mehr Wärme erfordert, als eines von der Unzahl der Einzelpartikelchen im chemischen Atome, welches dem Dulong-Petit'schen Gesetze gehorcht. Die Erklärung der anormalen Atomwärmen muß notgedrungen über den Charakter des Atoms als einer unteilbaren Größe hinwegschreiten, denn würden die bestimmten Elemente den zu kleinen Betrag der Atomwärme bei niedrigen Temperaturen nur im isolierten Zustande aufweisen, dann wäre die Anomalie immerhin noch aus dem molekularen Gefüge dieser Elemente zu erklären. Den Molekeln, welche sich aus fest und unbeweglich miteinander verbundenen Atomen aufbauen, käme die gleiche Rolle zu wie den für sich beweglichen Atomen der normales Verhalten aufweisenden Elemente. Diese Annahme wird jedoch angesichts der Tatsache hinfällig, daß die bestimmten Elemente auch in Verbindungen, in welche sie nur mit einem einzigen Atom eintreten, ihre anormale Atomwärme beibehalten.

Diese Anschauungsweise über die komplizierte Natur des

chemischen Atoms findet ihr Vorbild in der Dissoziation flüchtiger Stoffe mit zunehmender Erwärmung. Nach dem gleichen Vorbilde sind die Versuche zu einer „analytischen Chemie der Elemente" (V. Meyer) gedacht, das heißt zur Prüfung, ob die Dämpfe der flüchtigen, chemischen Elemente bei der Einwirkung sehr hoher Hitzegrade irgendwelche Veränderung aufweisen. Namentlich stünde zu erwarten, daß diese Versuche bei den entsprechend hohen Temperaturgraden an einatomigen Gasen, wie Quecksilber, Kadmium, Zink, Jod, ausgeführt, Aufschluß darüber bringen könnten, ob die Atome nach unserer jetzigen Auffassung auch tatsächlich die letzten Schranken sind, welche sich einer weiteren Teilung des Stoffes entgegensetzen. So haben Victor Meyer und seine Schüler[456] eine Reihe von Elementen Temperaturen unterworfen, welche sich nahe bis 1700° C. erhoben. Das positive Ergebnis war nun freilich von dem vorschwebenden Ziele einer Spaltung der Atome weit entfernt, denn Bestimmungen der Dampfdichte lehrten lediglich die atomistische Zerlegung eines Moleküls erkennen, dessen zusammengesetzte Natur aus theoretischen Gründen ohnehin nicht zweifelhaft war. So blieben Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Quecksilber, Zink, Kadmium und andere Elemente auch bei diesen hohen Hitzegraden ihrem atomistischen Gefüge nach völlig unverändert, indessen sich die Halogenmoleküle, namentlich das Jodmolekül, ganz und gar nicht als feuerbeständig erwiesen. Die Dampfdichte des Jods erleidet schon bei mäßiger Glühhitze eine Verringerung; bei 1400° C. ist die Dampfdichte auf die Hälfte ihres früheren Wertes gesunken, und dieser so verkleinerte Wert hält sich bis zu den höchsten bisher angewandten Temperaturgrenzen konstant. Das Jod bietet demnach zwei verschieden geartete Molekularzustände dar, je nach dem es bei Temperaturen unter 600° C., oder aber bei hoher Glühhitze zur Untersuchung gelangt; im letzteren Falle ist eben das zweiatomige Jodmolekül in seine zwei stabile Hälften, die freien Jodatome, gespaltet. In ähnlicher Weise verhalten sich Chlor und Brom, wenn auch bei ihnen der Zerfall erst in viel höheren Temperaturgebieten beginnt und eine vollständige Halbierung der Dampfdichte bisher nicht zu erreichen war; hieran

[456] Vergleiche V. Meyer und C. Langer: Pyrochemische Untersuchungen.

schließt sich der Schwefel, welcher über 800° C.[457] vollständig in zweiatomige Moleküle zerfallen ist, während Selen, Tellur, Phosphor, Arsen und Antimon bei den höchsten bisher erreichbaren Temperaturen den Zerfall in den zweiatomigen Komplex vielfach nur sehr unvollständig erreichen. Gegen die Dampfdichtewerte für Kalium und Natrium, welche bei hoher Glühhitze für die Einatomigkeit des Dampfes sprechen, hegt indessen V. Meyer gewisse Bedenken. Ob es der „analytischen Chemie der Elemente“ durch Überwindung der „banalsten Schranke“: das Fehlen des bei den höchsten Temperaturen gasdichten Gefäßmateriales, dereinst gelingen wird, über diese, im Vergleiche zum angestrebten Ziele, negativen Erfolge hinaus, zu einem tatsächlichen Einblick in die Natur des Atomes zu gelangen, ist der Zukunft vorbehalten.[458]

Dem Zukunftsbilde einer „analytischen Chemie der Elemente“ stellt sich die „synthetische Chemie der Elemente“ zur Seite. Sie ist auf der Analogie basiert, welche gewisse komplizierte, organische Verbindungen, zum Beispiel die Ammoniumbasen, mit den Alkalimetallen im chemischen Verhalten aufweisen. Ihr Entdecker, Hofmann, bezeichnete diese „Alkylammoniumderivate“, $NR_4(OH)$, gleichsam als die Hydroxyde von unbekannten Alkalimetallen, welche nicht elementar sind, sondern eine komplizierte Zusammensetzung aus Stickstoff und vier Alkylgruppen besitzen. Zu den gleichen Analogieschlüssen bieten die Phosphonium-, Arsonium- und Sulfoniumbasen Material (PR_4OH, AsR_4OH und SR_3OH), indem sie sämtlich starke Alkalinität aufweisen, somit deutlich ausgeprägt eine Eigenschaft an sich tragen, welche bis dahin nur an Elementen bekannt war.

Eine noch interessantere Analogie bieten die Jodoniumbasen dar $[(C_6H_5)_2 = J.OH]$, da sie, gleich dem Thallium, eine wohl charakterisierte Doppelstellung zwischen den Alkalimetallen und den Schwermetallen einnehmen. Während ihre Oxyde und Karbonate in Wasser löslich und alkalisch sind, gleichen ihre Halogenverbindungen, schwer oder ganz unlösliche Niederschläge, dem Chlor-, Brom- oder Jodthallium. In noch überraschenderer Weise

[457] Biltz und Preuner, Zeitschr. f. physik. Chemie 39/323, 1901. — [458] Siehe Nernst, Zeitschrift für Elektrochemie 9/622, 1903.

tritt diese Analogie in dem Umstande zutage, daß diese Basen, in vollem Gegensatz zu allen anderen organischen Basen, gleich den Schwefelmetallen durch Schwefelammonium in dicken, großflockigen Niederschlägen gefällt werden; es sind die Sulfide dieser Basen, welche täuschend das Aussehen frisch gefällter Sulfide von Schwermetallen darbieten. Auf Grund dieser auffälligen Analogien bezeichnet V. MEYER das Jodonium als ein im gewissen Sinne zusammengesetztes Thallium. Gleichwie die Ähnlichkeit der Ammoniumbasen mit den Alkalihydroxyden auf eine Analogie im inneren Bau dieser Stoffe hindeutet, so drängt auch die weitgehende Ähnlichkeit zwischen Thallium- und Jodoniumverbindungen zu dem Gedanken, daß zwischen „beiden Körperklassen eine prinzipielle und endgültige Verschiedenheit nicht bestehe" (V. MEYER).

An die bisher geschilderte Gruppe von Hinweisen auf den komplexen Bau des chemischen Atomes, welche im allgemeinen der Analogie zwischen Molekül und chemischem Atom entnommen sind, schließt sich endlich eine zweite Gruppe von Hinweisen spektroskopischen Ursprunges. An die Spitze dieser zweiten Gruppe tritt die Tatsache, daß die Spektra der Elemente beim Übergang von niedrigen zu höheren Temperaturen, unter denen sie verdampft werden, ähnliche Veränderungen aufweisen, wie die Spektra der Verbindungen unter denselben Verhältnissen. Da nun die Veränderung des Spektrums einer Verbindung mit der Erhöhung der Temperatur in einer Dissoziation des Moleküles ihre Ursache hat, so lag die Vermutung nahe, daß auch die Elemente dissoziationsfähig seien, demnach durch die Wärme weiter zerlegbar wären.[459] Der Einfluß, welchen Temperaturserhöhungen auf die Spektra der Elemente nehmen, wurden am eingehendsten von NORMAN LOCKYER[460] studiert. Die Spektra vieler Elemente im Kohlenbogen, sowie im Induktionsfunken unter den verschiedensten Bedingungen hergestellt, weisen eine große Zahl gemeinsamer Linien auf, eine Tatsache, zu deren Erklärung LOCKYER

[459] Vergleiche zum folgenden: KAYSER: Handbuch der Spektroskopie, Bd. II 256. KAYSER: Spektralanalyse, S. 201. BAUR: Chemische Kosmographie, S. 28 ff. CHWOLSON: Lehrbuch der Physik Bd. II/408 ff. — [460] Studien zur Spektralanalyse, 1879 und Inorganic evolution, as studied by spectrum analysis, 1900.

die Hypothese einer Dissoziation der Elemente heranzieht, wobei diesen ein gemeinsames Dissoziationsprodukt zu eigen sei, welchem die Linien angehören, die sich in den Spektren der verschiedenen Elemente wiederfinden. So taucht im Lichte der LOCKYER'schen Versuche die Idee von dem Urstoff auf, dessen Atome verschiedene Gruppierungen eingehen und wechselnde Dissoziationen erleiden. Die Hauptstütze für seine Hypothese fand LOCKYER in den verschiedenen Spektren der Sonne und der Sterne, somit Spektren, deren Bildung bei Temperaturen vor sich gehen, deren extreme Höhe im Laboratorium zu erreichen bisher versagt blieb. Die uns spektroskopisch zugängliche Sonnenatmosphäre läßt merkwürdigerweise von den Metalloiden die Linien des Schwefels, des Phosphors und der Halogene vermissen, das Vorhandensein von Sauerstoff, das lange Zeit zweifelhaft blieb, ist nunmehr bestätigt, und das Auftreten der Cyanbanden, das heißt feiner Linien, die gruppenweise dicht beisammenstehen, erweist die Existenz des Kohlenstoffs und des Stickstoffs im Sonnenballe. Die zunächstliegende Idee, daß die Metalloide durch die Temperatur der Sonne eine weitgehende Dissoziation erlitten haben, vielleicht eine Spaltung in Sub- oder Proto-Elemente durch Zersplitterung des chemischen Atoms, findet in Bezug auf die Halogene ihre Bestärkung in der Dissoziationsfähigkeit dieser Elemente mit steigender Temperatur, namentlich der atomistischen Spaltung des Jods bei hoher Glühhitze. Jedoch auch die Spektren gewisser Metalle in der Sonnenatmosphäre weisen oft merkwürdige Verschiebungen und Verzerrungen auf; so deuten namentlich bestimmte Eisenlinien Verkrümmungen an, während die übrigen Linien des Eisenspektrums ihre normale Lage unverändert beibehalten. Daneben bleiben die Linien anderer Elemente, zum Beispiel des Magnesiums, völlig ruhig. LOCKYER's Erklärung dieser Anomalien im Eisenspektrum zieht wiederum die Möglichkeit der Existenz von Dissoziationsprodukten des Eisens in Betracht. Überdies fehlen in den Flecken und Protuberanzen des Sonnenballes viele der Linien, die sich im allgemeinen Sonnenspektrum zeigen, wobei charakteristischerweise die restierenden Linien der Flecke von denen der Protuberanzen verschieden sind. LOCKYER's Hypothese vermag auch für diese Erscheinung eine ungezwungene

Erklärung zu liefern: es wechseln eben die Dissoziationsprodukte je nach der verschiedenen Temperatur beider Stellen. Neuerdings hat LOCKYER die Spektren der Elemente, namentlich der Metalle, und ihre Veränderlichkeit mit der Temperatur unter Zuhülfenahme eines gewaltigen Induktionsapparates studiert, der 1 m lange Funken lieferte. Bei den höchsten Temperaturen des Funkens, die zu erreichen waren, treten einige Linien besonders verstärkt hervor, während andere zunehmend verschatten, welche Erscheinung LOCKYER zu dem Schlusse führt, daß diese „enhanced lines“ den Spaltungsprodukten der Elemente angehören, die er mit Protoeisen, Protocalcium, Protomagnesium, Protowasserstoff usw. benennt. Die Erscheinung der „enhanced lines“ vermag eine interessante Vertiefung zu erfahren, wenn die „enhanced lines“ zu einem eigenen Spektrum vereinigt werden und dieses mit den Spektren verschiedener weißer Sterne in Vergleich gesetzt wird. Unter den weißen Sternen ist nämlich einer vorhanden, α-Cygni, dessen Spektrum mit der LOCKYER'schen Kombination der „enhanced lines“ auffallende Übereinstimmung zeigt. Das Licht der weißen Sterne, welches starke blaue und violette Strahlen enthält, läßt im allgemeinen auf eine höhere Temperatur schließen, als es die der Sonne (5880° abs.) ist; das Spektrum dieses Sternenlichtes weist vorwiegend die vier Linien des Wasserstoffes in breiter Entwicklung auf, was nach spektroskopischen Erfahrungen auf eine mächtige Dicke der Wasserstoffatmosphäre dieser Sterne hindeutet, daneben finden sich in untergeordneter Weise die Linien des Heliums, Natriums, Magnesiums, Calciums und Eisens. Jene Sterne dagegen, welche die letzte Phase in der Existenz eines Sternes vor dessen Erlöschen darbieten, deren Temperatur bereits auf ein Niveau tief unter der Sonnentemperatur gesunken ist, weisen in ihrem Spektrum eine weit größere Zahl und viel kräftigere Absorptionslinien der Metalle auf als das Sonnenspektrum. Einige dieser Sterne — es sind die roten Sterne — weisen sogar ein Bandenspektrum auf, wie es für die leuchtenden Dämpfe von chemischen Verbindungen charakteristisch und nur bei jenen Elementen zu beobachten ist, deren Dämpfe nicht einatomig sind. Somit werden die LOCKYER'schen Folgerungen einer zunehmenden Dissoziation der Elemente mit der Steigerung der Temperatur auch durch die Natur der Sternspektren unterstützt.

Als bemerkenswerte Tatsache ist uns vorhin die mächtige Entwicklung der Wasserstofflinien im Spektrum der weißen Sterne entgegengetreten. Jedoch ist der Wasserstoff nicht nur in der Atmosphäre dieser Weltkörper, heißer als die Sonne, nachzuweisen, das Spektroskop lehrt uns den Wasserstoff bis in die undeutlichsten, kosmischen Gebilde hinein zu verfolgen. So ist der Wasserstoff in den sogenannten „unauflösbaren Nebeln", hochverdünnten leuchtenden Gasmassen, wie sie, mit kosmischem Staube versetzt, in den Kometenschweifen vorliegen, mit Sicherheit zu erkennen. Ihre eigentümliche Bedeutung erhält diese Tatsache im Lichte der PROUT'schen Hypothese.

Die Beweisgründe, welche LOCKYER für seine mechanische Erklärungsweise des spektroskopischen Verhaltens der Stoffe ins Feld zu führen vermochte, haben vielfache Anfechtungen erfahren. LOCKYER's Anschauungen führen ersichtlich zu einer tiefgreifenden Umgestaltung der gegenwärtigen Atomhypothese: die Atome der heutigen Chemie wären durch die Hitze des Induktionsfunkens in weit kleinere Elementarteilchen zerlegt. Die Schwierigkeiten experimenteller und theoretischer Natur, welche sich dieser mechanischen Erklärungsweise in den Weg stellen, mögen hier bloß eine flüchtige Andeutung finden. Ein Element weist oft mehrere Spektren auf, je nach dem Dissoziationszustande seiner Moleküle, so beispielsweise das Jod, dessen Emissionsspektrum in dem Temperaturgebiete wechselt, in welchem die Dissoziation der J_2-Moleküle einen beträchtlichen Grad erreicht.[461] Überdies verhalten sich die Spektrallinien eines und desselben elementaren Gases gruppenweise verschieden gegen äußere Einflüsse. So vermag erhöhter Luftdruck, der auf den elektrischen Bogen einwirkt, die Spektrallinien teils nach rot, teils nach violett zu verschieben; ZEEMAN's Effekt, die Beeinflussung der Lichtemission durch ein Magnetfeld derart, daß die Linien verbreitert erscheinen, versagt bei den Linien des Kohlenstoffs und des Jods, während die Linien anderer Elemente durch ein magnetisches Feld, und auch dadurch nur zum Teil, gespaltet werden. Und noch viele andere Umstände vermögen die Gestalt des Spektrums zu beeinflussen, erwähnt seien nur die irregulären Spektren, welche durch Umwandlung elektrischer oder chemischer Energie in Strahlung, die Luminis-

[461] KONEN, WIEDEMANN's Annal. 65 257.

zenz, hervorgerufen werden. Alle diese Umstände und noch viele andere, deren Schilderung zu weit führen würde, komplizieren die mechanische Erklärung der spektroskopischen Erscheinungen. Schließlich sei der Bildung endothermer Verbindungen bei extrem hohen Temperaturen ein flüchtiges Augenmerk zugewandt. Vermag die Wärme einerseits, im Falle exothermer Verbindungen, Verwandtschaftskräfte zu überwinden, so vermag sie andererseits, im Falle endothermer Verbindungen, Verwandtschaftskräfte auszulösen. Der Veränderung des Spektrums mit steigender Temperatur kann daher auch die Assoziation, die Aneinanderlagerung, und nicht durchwegs und von vornherein die Dissoziation der Stoffe zugrunde liegen.[462] Das Auftreten der Cyanbanden im Sonnenspektrum, die Bildung von Wasserstoffsuperoxyd in der Wasserstoffflamme[463], deren Temperatur 2000° (in gewöhnlicher Zählung) erheblich übersteigt, die von BERTHELOT ausgeführten Synthesen des Cyans und des Acetylens durch den Betrieb des elektrischen Lichtbogens in einer Stickstoff- resp. Wasserstoffatmosphäre, die Verbrennung des atmosphärischen Stickstoffs unter den analogen Verhältnissen zu einem Gemenge von Stickoxyd und Stickstoffdioxyd, bieten treffende Belege für diese Anschauung. „Leider sind hier wie überall in der Spektroskopie, wenn man näher zusieht, die experimentellen Kenntnisse noch viel zu gering. Es wäre dringend nötig, daß für verschiedene Substanzen die Spektra unter allen möglichen Bedingungen genauer untersucht würden und das Verhalten der einzelnen Linien verfolgt würde. Dabei wäre es freilich wünschenswert, die Anwendung von elektrischen Entladungen soviel wie möglich aus dem Spiel zu lassen, weil die dadurch eingeführten Bedingungen noch weniger bekannt sind, als bei hohen Temperaturen.[464]

[462] Die Kohlensäure muß ihre maximale Dissoziation bei 4500° C. erreichen, so daß über diese Temperatur hinaus die Kohlensäuremoleküle weniger zerfallen wären. LE CHATELIER, Zeitschr. f. physikal. Chem. 2. S. 782. — [463] TRAUBE, Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft 18 1894. NERNST Zeitschr. f. physikal. Chem. 46, S. 720. — [464] KAYSER, Handbuch a. a. O. II 283. Nichtsdestoweniger erscheinen nach KAYSER (S. 282) die bisher ermittelten, experimentellen Daten unwiderleglich die Zerlegbarkeit der Atome in kleinere und verschieden beschaffene Teile zu beweisen, womit der erste Teil der LOCKYER'schen Hypothese: die Dissoziationsmöglichkeit, bestätigt ist, während der zweite Teil: die Gleichheit der Dissoziationsprodukte verschiedener Elemente, unbewiesen bleibt.

Urstoffhypothese und Regel von AVOGADRO-AMPÈRE.

Eine beträchtliche Summe experimenteller Arbeit und Scharfsinnes liegt in jenen Bemühungen vor, welche mit den ersten Jahren der DALTON'schen Atomistik die Vereinfachung des chemischen Atombegriffes durch Auflösung des Atoms in die gleichförmigen Partikelchen eines Urstoffes sich zum Ziele setzen. Wie erinnerlich, gewinnt die Frage nach dem Aufbau des chemischen Atoms aus einander völlig gleichen Urpartikelchen ihre weitragende und prinzipielle Bedeutung im Horizonte einer einheitlichen mechanistischen Naturauffassung, deren oberster Grundsatz lauten müßte: die Ureinheiten der Masse sind einfach und in jeder Beziehung einander gleich. Zu diesem Grundsatze steht jedoch das Wesen des chemischen Atoms im diametralen Gegensatze, da Qualitäts- und Gewichtsverschiedenheit seine Hauptmerkmale sind. Der Zwiespalt, welchen die Chemie dadurch in eine einheitlich geschlossene Naturauffassung trägt, ist aber insolange unlösbar, als die Hypothese von AVOGADRO-AMPÈRE einen Fundamentalsatz der Chemie bildet. Denn es ist leicht ersichtlich, daß die Annahme einer völligen Gleichartigkeit der Urelemente des chemischen Atoms zum Inhalte dieser Hypothese im strikten Gegensatze steht.[465] Die Hypothese AVOGADRO's knüpft bekanntlich an GAY-LUSSAC's Entdeckung der einfachen Volumverhältnisse an, in welchen sich Gase verbinden. „GAY-LUSSAC", so heißt es in AVOGADRO's Abhandlung[466], „hat in einer interessanten Abhandlung gezeigt, daß die Verbindungen der Gase untereinander stets nach sehr einfachen Volumverhältnissen erfolgen, und daß, wenn die Verbindung gasförmig ist, ihr Volum gleichfalls in sehr einfachem Verhältnis zu dem der Bestandteile steht;

[465] Vergleiche zum folgenden STALLO a. a. O. S. 20 ff. — [466] OSTWALD's Klassiker Nr. 8, S. 3.

nun scheinen aber die Mengenverhältnisse der Bestandteile in den Verbindungen nur abhängig sein zu können von der Anzahl der einfachen Molekeln[467], welche sich verbinden, und der zusammengesetzten Molekeln, welche dabei entstehen. Man muß daher annehmen, daß auch zwischen den Volumen der gasförmigen Stoffe und der Anzahl der Molekeln, welche sie bilden, sehr einfache Verhältnisse bestehen. Die Hypothese, welche sich hier auf den ersten Blick darbietet, und welche sogar die einzig zulässige zu sein scheint, ist die Annahme, daß die Anzahl der zusammensetzenden Molekeln in jedem Gase bei gleichem Volum stets dieselbe sei, oder stets proportional dem Volum." Bekanntlich hat fast zur gleichen Zeit (1811) AMPÈRE denselben Gedanken laut werden lassen.[468] Die AVOGADRO-AMPÈRE'sche Hypothese schreibt somit den gleichen Raumteilen aller Stoffe, sobald sie sich im gasförmigen Aggregatzustande und unter denselben Druck- und Temperaturverhältnissen befinden, die gleiche Anzahl von Molekülen zu. Ist aber in gleich großen Raumteilen zweier Gase von verschiedenem spezifischen Gewicht dieselbe Anzahl von Molekülen enthalten, dann folgt, daß die Molekulargewichte der beiden Gase verschieden sind, und zwar zueinander in demselben Verhältnisse stehen, wie die spezifischen Gewichte beider Gase. Sehen wir nun zu, ob ein Einklang möglich ist zwischen diesem Prinzip und der Voraussetzung eines Urstoffes, dessen Teilchen, an Gestalt und Gewicht gleich, von Uranfang her mit einer Eigenbewegung ausgestattet sind, deren Geschwindigkeit verschieden sein kann. Würden sich diese Urteilchen im Ruhezustand befinden, dann gäbe es nur einen einzigen Stoff durch das ganze Universum hindurch; durch die ursprüngliche Bewegung jedoch ist dem Urteilchen ein bestimmtes Volumen zuerkannt, indem der Raum, den es einnimmt, mit der Geschwindigkeit der Bewegung so wächst, „wie die Bahn eines Planeten mit der Größe der Wurfgeschwindigkeit" (THOMAS GRAHAM). Innerhalb des chemischen Atoms schwingen diese Urteilchen; sie bestimmen durch die Größe ihrer Bewegung das Volumen des Atoms, die Dichte des Stoffes, indem die gleiche

[467] Dementsprechend, was wir gegenwärtig Atom nennen. — [468] OSTWALD's Klassiker ibid. S. 23.

Zahl von Urteilchen das eine Mal im größeren Raume, das andere Mal im kleineren Raume ihre ewigen Schwingungen vollführen. Fassen wir nun zwei gleich große Raumteile verschiedener Stoffe ins Auge, dann ist im Lichte der Urstofflehre die dichtere Masse dort zu suchen, wo die größere Zahl von Uratomen schwingt. Der Widerspruch zwischen der Idee vom Aufbau des chemischen Atoms aus gleichen Urteilchen und dem AVOGADRO-AMPÈRE'schen Prinzip tritt nun zutage. Nach dem letzteren Prinzip schwingen in gleichen Raumteilen verschieden dichter Gase die gleiche Zahl von Molekülen: es läßt somit dieses Prinzip Ungleichheiten der Masse in gleichen Volumteilen zu, während die Idee von den identischen Urteilchen, deren Raumerfüllung als Funktion ihrer ursprünglichen Eigenbewegung erscheint, zur gegenteiligen Annahme führt: zur Ungleichheit des Volumens gleicher Massen. Nach dem AVOGADRO-AMPÈRE-schen Satze nimmt ein Chlormolekül denselben Raum ein, wie ein Wasserstoffmolekül, obwohl es 35·5 mal schwerer ist als letzteres. Zwei Massen oder Moleküle von gleichem Volumen können im allgemeinen jedoch verschiedene Dichten oder Gewichte nur unter der Voraussetzung besitzen, daß die Zahl der Einheiten in dem einen Volumen verschieden ist von der Anzahl im zweiten. Auf dem Boden der chemischen Atomistik vermag nun im Gegenteil hierzu die gleiche Anzahl von Einheiten in denselben Raumteilen (sowohl dem Chlor- als auch dem Wasserstoffmolekül, beide zweiatomig) verschiedene Gesamtgewichte zuwege zu bringen, da ja den Atomen der einzelnen Elemente verschiedene Gewichte unabänderlich zu eigen sind. Wären jedoch Chlor- und Wasserstoffmolekül, beide im Sinne der Urstoffhypothese aus Teilchen gleichen Gewichtes aufgebaut, dann müßten in dem Wasserstoffmolekül zwei solcher Teilchen, in dem Chlormolekül dagegen 71 ihre Schwingungen im gleichen Raume vollführen. Gegen einen derartig komplizierten Bau des Moleküls sprechen jedoch vorwegs gewichtige, experimentelle Gründe. So beträgt in niederen Temperaturgebieten die Maximalzahl der Atome[469] im Molekül des Wasserstoffes, des Stickstoffes, des Sauerstoffes, der Halogene im wesentlichen zwei, im Arsen- und im

[469] Nähere Daten siehe VAUBEL a. a. O. I/322.

Phosphormolekül vier, im Schwefelmolekül beträgt sie acht, während Selendampf bei 860° C. das Molekulargewicht 222 (Se_2 = 158), Tellurdampf bei 1390° C. den Wert 260 (Te_2 = 250), Antimondampf bei 1572° C. den Wert 310 (Sb_2 = 240) aufweisen. Noch einfacher liegen die Verhältnisse beim Argon und Helium, welche beide einatomig aufzufassen, genügend Grund vorhanden ist; desgleichen sind Quecksilber, Zink, Kadmium und vermutlich auch Kalium und Natrium im Gaszustande von einatomiger Struktur. Noch gewichtigere Gründe, welche gegen den komplizierten Bau des Moleküls eines Elementes, in unserem speziellen Falle der Bau des Chlormoleküls, aus nicht weniger als 71 schwingenden Teilchen sprechen, sind der kinetischen Theorie der Gase zu entnehmen. Wird einem gasförmigen Stoffe Energie in Form von Wärme zugeführt, dann ist zwischen jenem Teile der Energie zu unterscheiden, welcher einer fortschreitenden Bewegung der Gasmoleküle zugeschrieben wird, und einem zweiten Teile, der sogenannten inneren Energie, welche zur Erzeugung von Bewegung der Teile innerhalb eines Moleküls, zur Erzeugung von intramolekularer Bewegung, verwendet erscheint. Die erste Form von Energie äußert sich bekanntlich in jedem Falle in Form von Temperatur, wozu die äußere Arbeit tritt, welche ein Gas bei der Erwärmung unter veränderlichem Volumen, dem seiner Ausdehnung widerstrebenden konstanten Druck der Atmosphäre entgegen, zu leisten vermag; der zweite Teil der zugeführten Wärmeenergie wird tatsächlich absorbiert, insofern er keinerlei Wirkung auf unser Wärmegefühl resp. das Thermometer zu äußern vermag. Wenn nun das Chlormolekül in Wirklichkeit einen molekularen Aufbau von der angegebenen Kompliziertheit besäße, dann müßte fast die gesamte, dem Chlor zugeführte Wärme zur Erzeugung von schwingenden oder drehenden Bewegungen der Atome innerhalb des Chlormoleküls, das heißt zur Erzeugung von innerer Energie verbraucht werden, und die berechnete spezifische Wärme müßte den hierfür experimentell ermittelten Betrag bei weitem übersteigen, was jedoch keineswegs zutrifft. Zur besseren Übersicht über die in Frage kommenden physikalischen Verhältnisse sei an die Grundgleichung der kinetischen Gastheorie erinnert:

$$p = {}^1\!/_3\, n\, \frac{mc^2}{v}.$$

wobei p den Druck auf die Flächeneinheit eines Würfels darstellt, in dessen Volumen v sich n Gasmoleküle bewegen, deren jedes die Masse m und die mittlere, konstante Geschwindigkeit c besitzt.[470] Aus dieser Gleichung folgt direkt:

$$pv = {}^1\!/_3\, nmc^2,$$

mit ${}^3\!/_2$ multipliziert: ${}^3\!/_2\, pv = {}^1\!/_2\, nmc^2$.

${}^1\!/_2 mc^2$, das halbe Produkt aus der Masse eines Moleküls in das Quadrat der Geschwindigkeit, ist die Arbeit, welche ein Körper von der Masse m und der Geschwindigkeit c zu leisten vermag, das heißt seine lebendige Kraft oder kinetische Energie. $n\, {}^1\!/_2\, mc^2$ ist somit die kinetische Energie der fortschreitenden Bewegung der sämtlichen Gasmoleküle. Wird nun das Molekularvolumen der Gase (= 22·4 l) von 0° und einem Druck von 760 mm Quecksilber (= 1033 g) um einen Grad erwärmt, so wird pv um ${}^1\!/_{273}$ seines Betrages erhöht. Die Arbeit, welche für die ent-

[470] Diese Gleichung läßt sich bekanntlich nach Krönig und Clausius einfach unter der Voraussetzung ableiten, daß sich die Moleküle zwischen zwei Wandflächen derart bewegen, daß sie von der einen Fläche abprallen, dann mit der gleichen, aber entgegengesetzten Geschwindigkeit einen der Würfelkante gleichen Weg zur gegenüberliegenden Fläche zurücklegen, dort wieder zurückgeworfen werden und nach abermaliger Zurücklegung der Kantenlänge zur ersten Fläche zurückkehren. Durcheilt das Molekül in der Zeiteinheit den Weg c, so wird es die viel kürzere doppelte Kantenlänge 2a in der Sekunde $\frac{c}{2a}$ mal zurücklegen, demnach $\frac{c}{2a}$ mal an die Wand stoßen. Bewegen sich ${}^1\!/_3$ n Moleküle in jeder der gleichwertigen Richtungen des Würfels, so werden dieselben in der Zeiteinheit ${}^1\!/_3\, n\, \frac{c}{2a}$ Stöße ausüben. Die Bewegungsgröße des Moleküls ist mc; es nicht nur in seiner Bewegung aufzuhalten, sondern auch mit der gleichen Geschwindigkeit zurückzuwerfen, ist die Kraft 2mc nötig. Der Druck, den ein Molekül auf die Wand ausübt, ist daher 2mc, und der Druck P sämtlicher in der Zeiteinheit aufprallenden Moleküle: $P = {}^1\!/_3\, n\, \frac{c}{2a} \cdot 2mc = {}^1\!/_3\, n\, \frac{mc^2}{a}$. Da der Flächeninhalt des Würfels a^2 beträgt, so ist der Druck p auf die Flächeneinheit: $p = \frac{P}{a^2} = {}^1\!/_3\, n\, \frac{mc^2}{a}\, \frac{1}{a^2} = {}^1\!/_3\, n\, \frac{mc^2}{a^3} = {}^1\!/_3\, n\, \frac{mc^2}{v}$, wobei v das Volumen des Würfels bedeutet.

sprechende Zunahme der Energie der fortschreitenden Bewegung aufzuwenden ist, beträgt:

$$\frac{3}{2}\,\frac{1033.22 \cdot 4}{273} = 127.059 \text{ Grammcentimeter.}$$

und da das kalorische Äquivalent für die Arbeit eines Grammzentimeters $^1/_{42400}$ Grammkalorien beträgt, so ist diese Arbeit gleich:

$$\frac{127.059}{42.400} = 2 \cdot 99 \text{ Grammkalorien.}$$

Somit sind 2·99, rund 3 Grammkalorien nötig, um das Grammmolekül eines Gases von 0° und 760 mm Druck bei konstantem Volumen um 1° zu erwärmen, vorausgesetzt, daß die gesamte zugeführte Wärme dazu dient, die kinetische Energie der fortschreitenden Bewegung zu erhöhen.

Es ist nun einleuchtend, daß die experimentell ermittelten Daten von dem berechneten Werte 2·99 der Molekularwärme bei konstantem Volumen um so weitgehender abweichen werden, je größer die Zahl der Atome in dem Molekül ist, da in demselben Maße der Wärmeverbrauch zur Erzeugung intramolekularer Bewegung eine Steigerung erfahren muß. Wäre nun der Bau des chemischen Moleküls von einer derartigen Kompliziertheit, wie sie vorhin im Lichte der Urstoffhypothese für das Chlormolekül dargelegt wurde, dann müßten einerseits diese Abweichungen in direktem Verhältnis zum steigenden Molekulargewicht der Elemente ins Ungemessene sich erstrecken, andererseits wäre die experimentell ermittelte Tatsache undenkbar, daß die Molekularwärme des Quecksilbers mit dem berechneten Werte fast vollkommen übereinstimmt. Namentlich führt diese letztere Tatsache, wie sie das Quecksilber am treffendsten aufweist, zwingend zur Annahme, daß das chemische Atom die letzte Einheit des Stoffes ist, die infolge ihrer Einfachheit und Unteilbarkeit keinerlei Angriffspunkte zur Umsetzung von Wärme in innere Energie zu bieten vermag. Die folgende Tabelle lehrt, daß die zweiatomigen Gase, wie H_2, O_2, N_2 und so fort, Molekularwärmen aufweisen, welche untereinander nahezu gleich sind und etwa das Doppelte der Molekularwärme des Quecksilberdampfes betragen, so daß

die auf Rechnung der Entstehung von innerer Energie entfallenden Abweichungen keineswegs auf eine so hoch komplizierte Struktur des Moleküls hindeuten, als sie die Urstoffhypothese erfordern würde. Des Vergleiches halber seien in die Tabelle auch die Werte für dreiatomige Verbindungen aufgenommen, die sich, wie im Falle des H_2S und N_2O, ungefähr dem dreifachen Werte für Quecksilber nähern. Es mag nebenbei nicht verabsäumt werden, darauf hinzuweisen, daß diese Werte von der Natur des speziellen Atoms jedenfalls eine Beeinflussung erfahren[471], wie dies namentlich aus dem Beispiele der Halogene hervorgeht.

	Molekularwärmen bei konstantem Volumen.
Hg	2·98
O_2	4·96
N_2	4·83
H_2	4·82
Cl_2	6·58
Br_2	6·88
HCl	4·68
H_2S	6·27
N_2O	7·94

Einen ähnlichen Prüfstein für den Widerspruch, in welchen die Urstoffhypothese mit physikalischen Grundlehren gerät, bildet das Verhältnis zwischen den Molekularwärmen bei konstantem Druck und konstantem Volumen. Wird das Molekularvolumen der Gase (= 22·4 l) bei einem konstanten Druck von 760 mm Quecksilber (= 1033 g) von 0° auf 1° erwärmt, dann beträgt die Ausdehnung hierbei: $22·4 . ^1/_{273}$ = 82 cm³, und die hierfür zu leistende Arbeit: 82.1033 = 84.700 Grammzentimeter und das kalorische Äquivalent $84.700\, ^1/_{42400}$ = 1·99 Grammkalorien. Die Wärmemenge C_p, welche dem Grammmolekül zugeführt werden muß, um die Temperatur des Gases bei konstantem Druck um 1° zu erhöhen, ist demnach um den Betrag von rund 2 Grammkalorien größer als die Wärmemenge C_v, welche dieselbe Temperaturerhöhung, jedoch bei konstantem Volumen, hervorruft, da

[471] Näheres siehe Ostwald a. a. O. I/250 ff.

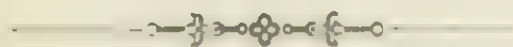
ja im letzteren Falle die Leistung äußerer Arbeit entfällt. Daher ist C_p in abgerundeten Werten gleich: $3 + 2 = 5$ Grammkalorien und $\frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3} = 1{\cdot}667$. Im Falle der Erzeugung von intramolekularer Bewegung wird das Verhältnis von $\frac{C_p}{C_v}$ einen um so kleineren Wert als 1·667 aufweisen, je größer der Betrag der inneren Energie ist. Am exaktesten ist dieses Verhältnis für Quecksilberdampf mit Hilfe der Beziehungen, welche zwischen diesem Verhältnis und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallwellen in Gasen bestehen, von KUNDT und WARBURG[472] ermittelt worden. Umfassende Versuche bei verschiedenen Sättigungsgraden des Quecksilberdampfes unter Verwendung dreier verschiedener Apparate ergaben den Wert: 1·666. Analog wurde von RALEIGH und RAMSAY[473] für Argon der Wert: 1·659 erhalten, und für Helium[474] beträgt der Wert 1·67, so daß neben dem Quecksilberdampf auch diese Gase als einatomig aufzufassen sind. Diese fast völlige Übereinstimmung der experimentell ermittelten Daten mit dem Verhältnis beider Molekularwärmen, welches unter der Voraussetzung jedweder Abwesenheit von intramolekularen Bewegungen berechnet ist, läßt somit die Annahme eines komplexen Baues der betreffenden Atome ausgeschlossen erscheinen.

Die Zersplitterung des chemischen Atoms in noch kleinere Partikelchen identischer Natur wäre geeignet, die Chemie den Grundlagen näherzubringen, auf denen die übrigen Naturwissenschaften einer Auflösung in „Mechanik der Atome", das heißt der Durchführung einer einheitlich geschlossenen, mechanistischen Auffassung des Naturgeschehens entgegenstreben. Die Wissenschaft, deren Gegenstand speziell die Atome und ihre Bewegungen sind, wäre über den seltsamen Widerspruch zu den übrigen Zweigen der Naturwissenschaft hinweggebracht, in welchen sie durch den spezifischen Inhalt des chemischen Atombegriffes ge-

[472] POGGENDORF's Annal. 157,353, Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft 8/945. — [473] Zeitschrift für physikalische Chemie 16/344. — [474] LANGLET, Zeitschrift für anorgan. Chemie 10/289, vergleiche: MUGDAN, Argon und Helium. Sammlung chem. und chem. techn. Vorträge, herausgegeben von AHRENS, Band I, Heft 4.

rät. Bemühungen zur Lösung dieses Widerspruches müssen jedoch an den Daten des physikalischen Experimentes unausweichlich scheitern. Experimentelle Erfahrungen rein physikalischer Natur sind es, welche einer Komplizierung des chemischen Atoms widerstreben und sich als wohlbegründete Stützen der DALTON'schen Atomistik erweisen. Das qualitativ- und gewichtsverschiedene Atom bleibt die letzte Einheit des Stoffes, deren ideelle Unterteilung zu erheblichen Widersprüchen mit physikalischen und chemischen Grundlehren führt. Jedoch noch ragt die Idee von einer Urmaterie, einem stofflichen Ursubstrate der chemischen Elemente, im letzten Grunde der Quelle platonischer und alexandrinisch-alchemistischer Naturspekulation entflossen, einem fossilen Überreste ähnlich, in die Naturwissenschaft unserer Tage hinein. Allein auch von dieser Idee gelten die einem anderen Gegenstande gewidmeten schönen Worte DU BOIS-REYMOND's[474a]: „In den mittelalterlichen Bauten Italiens sieht man oft Tempeltrümmer einer versunkenen Religion als Werkstücke eingemauert. Seiner Bestimmung entfremdet, kaum kenntlich, fesselt der marmorne Architrav einen Augenblick den sinnigen Wanderer. Achtlos vorüber eilt die Menge. So birgt der unscheinbare, aber sichere Bau heutiger Empirie manche Trümmer einer glänzenden, einst die Wissenschaft beherrschenden Spekulation, in der unsere Zeit das Heil nicht mehr sucht".

[474a] Reden, I. Folge S. 55 f.: Leibnizische Gedanken in der neueren Naturwissenschaft.



Die Auffassung von der elektronischen Struktur des Stoffes.

Das letztverflossene Jahrzehnt physikalischer Forschung empfängt im Entwicklungsgang der Naturwissenschaft durch die Entdeckung neuer Arten von Strahlungen, darunter der radioaktiven, seine eigenartige Physiognomie. Angesichts der Erscheinungen der Radioaktivität ist das Stoffproblem in eine neue Phase seiner Entwicklung getreten. Eine „unteratomige" Welt[475] ist erschlossen, innerhalb welcher die radioaktiven Elemente eine langsame, spontane Umwandlung in andere Elemente erleiden, welcher Umwandlung ein plötzliches Zerfallen oder Zerspringen der chemischen Atome zugrunde liegt. Die Fragmente der zerfallenden Atome, die „α-Teilchen", Korpuskeln, von denen jedes eine elektrische Ladung mit sich führt, werden mit ungeheurer Energie nach allen Richtungen des Raumes geschleudert; der Flug dieser Teilchen erzeugt die „α-Strahlung".

Die Schilderung dieser jüngsten Phase in der Entwicklung des Stoffproblems, der Phase der elektrischen oder elektronischen Auffassung des Stoffes und ihrer wichtigen Beziehungen zur DALTON'schen Atomistik, erfordert eine summarische Darlegung des Wesens der radioaktiven Strahlengattungen und der Katodenstrahlen. Die Strahlungen der Radioelemente: Uran, Thor und Radium, zerfallen in drei verschiedene Typen: die α-, β- und γ-Strahlen. Das Polonium sendet ausschließlich nur α-Strahlen aus, während in der Strahlung des Aktiniums bloß α und β, nicht aber die γ-Strahlen mit voller Sicherheit nachzuweisen waren. Als zunächstliegender Unterscheidungsgrund dieser drei Strahlentypen bietet sich das auffällig verschiedene

---

[475] SODDY: Die Entwicklung der Materie, enthüllt durch die Radioaktivität und: Die Radioaktivität vom Standpunkte der Desaggregationstheorie. Beides übersetzt von SIEBERT. Siehe ferner: STARK: Die Dissocierung und Umwandlung chemischer Atome.

Durchdringungsvermögen dar. Während die α-Strahlen bereits durch ein einzelnes Blatt Papier oder durch eine Luftschicht von einigen Zentimetern Dicke zurückgehalten werden, durchdringen die β-Strahlen mit Leichtigkeit dünne Metallfolien, Glas und so fort, werden aber von einer einzigen Münze fast vollständig zurückgehalten. Die γ-Strahlen haben von allen Strahlengattungen das stärkste Durchdringungsvermögen; sie dringen durch eine Säule von 12 Münzen hindurch, ohne vollständig absorbiert zu werden. Die drei Strahlengattungen unterscheiden sich überdies durch ihr verschiedenes Verhalten unter dem Einfluß des magnetischen und des elektrostatischen Feldes. Die β-Strahlen werden leicht in kreisförmige Bahnen abgelenkt, ähnlich den Katodenstrahlen[476], mit welchen sie auch die Richtung der Ablenkung teilen. Die α-Strahlen werden durch starke magnetische und elektrostatische Felder in der entgegengesetzten Richtung der β- und Katodenstrahlen in geringem Maße abgelenkt; die γ-Strahlen sind nicht ablenkbar und bieten durch ihr sonstiges experimentelles Verhalten allen Grund zur Annahme, daß sie zu den β-Strahlen in einer ähnlichen Beziehung stehen wie die X-Strahlen der CROOKES'schen Röhre zu den Katodenstrahlen, nur daß die γ-Strahlen den Austritt der β-Strahlen, die X-Strahlen jedoch die Hemmung der Katodenstrahlen begleiten.

Von den drei Strahlengattungen kommt der α-Strahlung die größte Bedeutung für die Erscheinungen der Radioaktivität zu. Sie beträgt wahrscheinlich in allen Fällen über 99% der ausgestrahlten Energie, so daß die Energiesumme der β- und γ-Strahlen nur einen geringen Bruchteil der gesamten Strahlung bildet. Überdies sind die β- und γ-Strahlen der Zeit nach sekundäre Erscheinungen, indem die α-Strahlung den Vorgang der Radioaktivität einleitet, die Aussendung der beiden anderen Strahlentypen aber erst viel später erfolgt. Eine der hervorragendsten Eigen-

[476] Vergleiche SCHMIDT: Die Katodenstrahlen, ferner RIEKE: Lehrbuch der Physik 2. Aufl. II 339 ff. Siehe auch KAYSER: Die Elektronentheorie, akademische Festrede. Ferner KÖTHNER: Selbststrahlende Materie. Atome und Elektronen, Zeitschrift für angew. Chemie 1902/1153, RIGHI: Die moderne Theorie der physikalischen Erscheinungen (aus dem Italienischen übersetzt von DESSAU) Leipzig 1905. und WIEN: Über Elektronen. Vortrag gehalten auf der 77. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Meran. Leipzig 1905.

schaften der α-Strahlen ist die Fähigkeit, die Luft oder andere Gase zu jonisieren. Die Gase werden durch die Wirkung der Strahlen befähigt, die Elektrizität in Mengen zu leiten, welche der Intensität der Strahlung proportional sind.

Die Katodenstrahlen entstehen bekanntlich beim Durchgang der Elektrizität durch Gase von enormer Verdünnung; Crookes erreichte Verdünnungen unter ein Millionstel Atmosphäre. Bei ihrem Auftreffen auf die Glaswand entsteht eine neue dunkle Strahlengattung, die X-Strahlen Röntgen's, welche ähnlich wie die γ-Strahlen der Radioelemente als Störungen im Lichtäther aufzufassen sind. Die Katodenstrahlen erscheinen gleich den β-Strahlen der Radioelemente durch den Flug von negativen Elektrizitätsteilchen erzeugt, die α-Strahlen dagegen als ein Schwarm von positiv geladenen, diskreten Massenteilchen, deren Masse ungefähr doppelt so groß ist wie die Masse des Wasserstoffatomes.

Die Katodenstrahlen weisen in der Art ihres Entstehens die engsten Beziehungen zum Hindurchströmen von Elektrizität durch die evakuierte Röhre auf; daher lag es nahe, zur Erklärung des Wesens dieser Strahlen die Analogie mit der elektrolytischen Stromleitung heranzuziehen. Die Katodenstrahlen wurden als ein Strom von Molekülen, von Jonen gedeutet, und zwar Jonen mit negativer Elektrizität beladen, da sie vom negativen Pol ihren Ausgang nehmen. Mit dieser Auffassung war gleichzeitig die Aufgabe herangerückt, die Teilchen der Katodenstrahlen ihrer Natur nach endgültig festzustellen; sind diese Teilchen etwa Jonen, wie sie von der Elektrolyse her bekannt sind, oder Teilchen anderen Wesens? Die Lösung dieser Aufgabe ist durch den seltenen Scharfsinn und das experimentelle Geschick J. J. Thomson's[477] bewerkstelligt worden. Eine Reihe glänzender Untersuchungen Thomson's haben zu dem Ergebnis geführt, daß jedes Teilchen der Katodenstrahlen eine Ladung mit sich führt, welche mit derjenigen Ladung identisch ist, die ein einwertiges Jon bei der Elektrolyse transportiert. Die ponderable Masse eines jeden dieser Teilchen — Korpuskeln nannte sie Thomson — beträgt $^1/_{2000}$ der Masse eines Wasserstoffatomes; die Geschwindigkeit der Teilchen beträgt in der Regel ein Zehntel der Lichtgeschwindigkeit

[477] Philosophical Magazine (5), 44/293 (1897).

(300.000 km per Sekunde), sie vermag jedoch innerhalb der Grenzen von 22.000—50.000 km per Sekunde zu schwanken. Nach FARADAY's bekanntem „Gesetze der fixen elektrolytischen Aktion" (1833) scheidet ein und dieselbe Elektrizitätsmenge e aus verschiedenen Elektrolyten chemisch äquivalente Mengen m ab, so daß den verschiedenen Stoffen verschiedene Werte für $\frac{e}{m}$ entsprechen, da m seinen numerischen Betrag von Stoff zu Stoff wechselt. Wären nun die Teilchen der Katodenstrahlen Jonen, dann müßte das Verhältnis $\frac{e}{m}$ den gleichen Charakter wie im Falle der Elektrolyse besitzen. Jedoch THOMSON's[478] kühn ersonnene Versuche, welche zur Einzelmessung von e und m für Katodenstrahlen in beliebigen Gasen vordrangen, lehrten erkennen, daß einerseits e, die Elektrizitätsmenge, welche ein geladenes Teilchen im Gase mit sich führt, ebenso groß ist, wie die Elektrizitätsmenge eines Wasserstoffions in einem Elektrolyten, und daß andererseits $\frac{e}{m}$ für alle Gase den gleichen Wert aufweist, somit m in allen Fällen identisch ist. Das Verhältnis $\frac{e}{m}$ hat für die Teilchen der Katodenstrahlen den ungefähr 2000fachen Wert des Verhältnisses $\frac{e}{m}$, wie es für ein Wasserstoffatom gilt; da die Elektrizitätsmengen in beiden Fällen die gleichen sind, so folgt, daß die Massen der gasförmigen Jonen ungefähr 2000mal kleiner sind als das Wasserstoffatom. Ist e identisch mit dem Werte, wie er für die Jonen in Lösung gilt, dann trägt jedes der Teilchen in den Katodenstrahlen, jede Korpuskel ein Elektron, das heißt ein Elementarquantum an Elektrizität im Sinne der bekannten Theorie HELMHOLTZ' von der atomistischen Struktur der Elektrizität[479]; ist für m, unabhängig von der stofflichen Natur des Gases, stets derselbe Wert zu erhalten, dann liefert die Jonisierung, die Spaltung aller Gasatome, Teilchen von gleicher Größe.

THOMSON's Forschungen hatten somit Teilchen kennen gelehrt,

[478] Philos. Magazine (5), 46.528 (1898) und 48.547 (1899). — [479] Ges. Abhandlungen III,97. Vorträge und Reden II 251: Die neuere Entwicklung von FARADAY's Ideen über die Elektrizität. (1881).

deren Masse den 2000sten Teil der Masse des leichtesten Atoms betrug, welches der Chemie bekannt ist. Wäre das Wasserstoffatom tatsächlich in weitere 2000 Teile zu zerlegen? Wie nahe lag der Schluß, in diesen verschwindend kleinen Teilchen der Katodenstrahlen endlich die Uratome, die letzten Bausteine der chemischen Elemente entdeckt zu haben. Ein derartiges Uratom mit einem Atom Elektrizität beladen, wurde in der Folge durchwegs Elektron benannt, die Bezeichnung Korpuskel kam außer Gebrauch. THOMSON zögerte nicht, diesen gewichtigen Schluß zu ziehen, indem er aus seinen zahlreichen glänzenden Versuchen das Ergebnis ableitete, daß die Leitung der Elektrizität in Gasen auf ähnliche Weise wie in den Lösungen der Stoffe erfolgt, nur sollten im Falle von Gasen die Uratome Träger der Elektrizität sein. Die Hypothese PROUT's schien durch THOMSON's Entdeckungen von ganz ungeahnter Seite her neuerdings überwunden, denn nicht mehr der Wasserstoff sollte die Urmaterie sein, sondern ein anderer seiner Qualität nach unfaßbarer Stoff, die Korpuskeln oder auch „Quanten", wie sie THOMSON nannte, die in Form der Katodenstrahlen sinnenfällige Wirkungen zu äußern vermögen. Demgemäß suchte THOMSON die Masse oder gleichsam das Atomgewicht der Urmaterie zu bestimmen.

THOMSON's Hypothese findet ihren Vorläufer bereits in den Ideen, welche CROOKES in seinem Vortrage vor der englischen Naturforscherversammlung in Sheffield im Jahre 1874 entwickelte. Der Vortrag CROOKES', der schon seines merkwürdigen Titels halber: „Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand" seinerzeit lebhafte Sensation erweckte, enthält die ersten Züge einer Emissionstheorie zur Erklärung des Wesens der Katodenstrahlen. Je mehr die einzelnen Gasmoleküle bei immer weiterer Evakuierung größere Strecken zurückzulegen haben, bevor sie auf andere Moleküle treffen, desto mehr gehen ihre physikalischen Eigenschaften verloren. Die zurückbleibenden Moleküle laden sich nun an der Katode negativ und werden fortgeschleudert, sie bilden die Katodenstrahlen, sie bilden die „strahlende Materie". Am Schlusse seines Vortrages jedoch regt CROOKES die Frage an, ob es in Wirklichkeit Gasmoleküle sind, welche von der Katode fortgeschleudert werden, oder ob es nicht vielleicht die kleinen,

unteilbaren Teilchen, die Uratome sind, von denen man mit gutem Grunde voraussetzt, daß sie die physikalische Grundlage des Weltalls bilden. „Wir haben gesehen," erklärt CROOKES, „daß in einigen ihrer Eigenschaften die strahlende Materie ebenso materiell ist als dieser Tisch, während sie in anderen Eigenschaften fast den Charakter strahlender Energie annimmt. Wir haben tatsächlich das Grenzgebiet berührt, wo Materie und Kraft ineinander überzugehen scheinen, das Schattenreich zwischen dem Bekannten und Unbekannten, welches für mich immer besondere Reize gehabt hat. Ich denke, daß die größten wissenschaftlichen Probleme der Zukunft in diesem Grenzlande ihre Lösung finden werden und selbst auch darüber hinaus; hier, so scheint es mir, liegen letzte Realitäten." Hat sich diese Vermutung CROOKES' in der Folgezeit auch glänzend bewährt, so war doch mit seiner Idee von den Uratomen, die in der strahlenden Materie vorliegen sollten, sowie mit der späteren Hypothese THOMSON's anscheinend über das Ziel geschossen. THOMSON hatte auf Grund seiner Experimente die Korpuskeln oder Elektronen als Kombinationen von Elektrizitätsteilchen und wägbarer Materie aufgefaßt. Die Materie, deren Charakteristikum die unveränderliche Trägheit ist, hängt sich wie ein Bleigewicht an das Elektrizitätsteilchen, und zwingt dasselbe, die gerade Bewegungsrichtung beizubehalten, ohne je einen Seitenweg ohne zwingende Ursache einzuschlagen. So erklärt es sich, daß die Elektronen das Bestreben zeigen, ihren geradlinigen Weg von der Katode aus zur gegenüberliegenden Wand des evakuierten Rohres fortzusetzen, so erklärt es sich, daß dieser Schwarm von negativ geladenen Teilchen im elektrostatischen Felde nur wenig von seinem Wege abgelenkt wird, ohne daß die Teilchen direkt an die ablenkenden Platten heranfliegen. Allein diese Schlußweise erfuhr bald gewichtige Anfechtung. THOMSON und HEAVISIDE[450] haben mathematisch nachgewiesen, daß eine elektrische Ladung, die auf einer Kugel von hinreichend kleinem Radius konzentriert ist, vermöge des elektrischen Kraftfeldes, welches sie im umgebenden Äther erzeugt, Trägheit besitzen muß. Demnach wird sie einer Änderung der Bewegung Widerstand entgegensetzen und sich im allgemeinen

[450] Siehe THOMSON: Recent Researches on Electricity and Magnetism.

so verhalten, als ob sie eine bestimmte Masse besäße. Unter diesen Umständen gleicht somit die Elektrizität der trägen Materie in ihrer fundamentalsten Eigenschaft. Aus dieser Theorie folgt, daß die Geschwindigkeit des Jons nicht über einen bestimmten, durch die Lichtgeschwindigkeit repräsentierten Grenzwert steigen kann, da bei diesem Grenzwerte die Trägheit und daher auch die Masse der Teilchen den Wert „unendlich" erreichen würde. Für Geschwindigkeitswerte, welche kleiner als die Hälfte der Lichtgeschwindigkeit sind, ist nämlich die durch die Bewegung der Ladung erzeugte Trägheit oder die „elektrische Masse", wie sie in diesem Falle auch zu bezeichnen ist, annähernd konstant; jedoch oberhalb dieser Grenze weist die Masse eine sehr schnelle Zunahme auf. Die Theorie ergibt somit, daß bei großen Geschwindigkeiten der Elektronen die scheinbare Trägheit sich anders verhalten muß, als die wirkliche Trägheit, die von unveränderlicher Größe ist, und nicht, wie die erstere, von der Geschwindigkeit abhängt. Wenn nun die Masse des Elektrons elektrischen Ursprungs ist und durch die scheinbare Trägheit der bewegten Ladung erzeugt wird, so muß die Masse m mit wachsender Geschwindigkeit zunehmen, somit das Verhältnis $\frac{e}{m}$ abnehmen. In der Tat haben neuere Versuche, welche KAUFMANN[431] an den β-Strahlen des Radiums ausführte, das Ergebnis geliefert, daß das Verhältnis $\frac{e}{m}$ von $1{\cdot}31.10^7$ bis $0{\cdot}63.10^7$ abnimmt, wenn die Geschwindigkeit von $2{\cdot}36.10^{10}$ bis $2{\cdot}83.10^{10}$ wächst. Die Masse des Korpuskels oder Elektrons, das heißt die negative Atomladung, welche die Katodenstrahlen und die β-Strahlen des Radiums bildet, ist somit der Hauptsache nach elektrischen Ursprungs. Die Elektronen sind nichts anderes als Elektrizitätsmengen, und in dem Katodenstrahl liegt ein Schwarm schnell bewegter Elektrizitätsteilchen vor, die aufeinander elektrostatische und elektrodynamische Wirkungen derart auszuüben vermögen, als ob die Teilchen Trägheit besäßen. Die so bestrickende Annahme, als lägen in den Teilchen der Katodenstrahlen die Ur-

[431] Nachrichten der königl. Gesellschaft der Wissensch. in Göttingen 1901 Nr. 2 u. 1903 S. 90 und 148. Siehe hierzu LORENTZ: Ergebnisse und Probleme der Elektronentheorie. Berlin 1905.

atome vor, erweist sich demnach als unhaltbar, jedoch ist die Diskussion über das Resultat der KAUFMANN'schen Versuche zurzeit noch nicht abgeschlossen.

In neuester Zeit hat J. J. THOMSON[482] eine Ansicht von der Konstitution des Atomes eingehend dargelegt, nach welcher die Atome der verschiedenen Elemente als Ansammlungen positiver und negativer Ladungen aufzufassen sind. Diese Ladungen werden hauptsächlich durch ihre elektrischen Anziehungen zusammengehalten. Zugunsten der Annahme, daß das chemische Atom aus einfacheren Systemen aufgebaut ist, sprechen nach THOMSON namentlich die Erscheinungen der Radioaktivität, da man gute Gründe für die Annahme hat, daß die Radioaktivität auf Veränderungen beruht, die in den Atomen der radioaktiven Substanzen vor sich gehen. Daher ist ins Auge zu fassen, ob wir uns ein Modell vorstellen können, welches die merkwürdigen Eigenschaften der radioaktiven Substanzen zu erklären vermag; hierbei ist die Bedeutung zu erwägen, welche die Existenz der Korpuskeln für das Problem der Konstitution des Atomes besitzt, wenn auch das Modell des Atoms, zu dem wir durch diese Erwägungen kommen, sehr roh und unvollkommen ist. Welches ist nun die Natur eines dieser einfacheren Systeme, aus denen sich das Atom der chemischen Elemente zusammensetzt? Die Korpuskel, deren Masse viel kleiner ist als die Masse des Atoms, bildet den einen Bestandteil des Ursystems. Die Korpuskel besitzt aber eine bestimmte Ladung negativer Elektrizität, und da wir mit jeder Ladung von Elektrizität stets eine ebenso große Ladung von Elektrizität der entgegengesetzten Art in Zusammenhang bringen, so müssen wir erwarten, daß die negative Ladung der Korpuskel mit einer ebenso großen Ladung positiver Elektrizität verbunden ist. „Wir wollen uns daher unser Ursystem als ein elektrisches Paar vorstellen, mit einer negativen Korpuskel an dem einen Ende und einer gleichen positiven Ladung am anderen. Die beiden Enden denken wir uns durch elektrische Kraftlinien verbunden, denen wir materielle Existenz zuschreiben."[483] Hätten wir nun

[482] THOMSON: Elektrizität und Materie. Übersetzung von SIEBERT, Braunschweig 1904. — [483] Siehe auch Engineering illustrated weekly journal Nr. 2046 March 17, 1905, p. 350.

ein Universum, welches aus einer unermeßlichen Anzahl dieser elektrischen Paare besteht, so würden sich diese im Ruhezustande infolge ihrer Anziehung gegenseitig annähern, ebenso wie eine Anzahl von Magneten, die sich frei bewegen können, sich gegenseitig nähern und Aggregate von mehr als einem System bilden würden. Wenn sich dagegen die einzelnen Systeme ursprünglich mit großer Geschwindigkeit bewegen, so kann die relative Geschwindigkeit zweier Systeme genügen, um die Systeme trotz ihrer gegenseitigen Anziehung voneinander zu entfernen. Ist jedoch die kinetische Energie der Systeme bis zu einem gewissen Grade vermindert, dann vermag deren gegenseitige Anziehung die aus der relativen Bewegung entspringende Abstoßung zu überwinden, und die Systeme verbleiben im Falle einer Kollision beieinander. In welcher Weise sollte nun die kinetische Energie eines solchen Aggregates von elektrischen Einheiten abnehmen? Wenn sich die Geschwindigkeit eines geladenen Körpers ändert, so verliert der Körper an Energie, da er elektrische Wellen erzeugt, welche in den Raum ausstrahlen und Energie mit sich führen. Wenn daher die Einheiten in Kollision geraten, das heißt, wenn sie so nahe zusammen kommen, daß sie gegenseitig ihre Bewegung merklich beschleunigen oder verzögern, so wird Energie fortgestrahlt, welche von den benachbarten Einheiten nicht vollständig absorbiert wird. Demnach findet ein kontinuierlicher Verlust an Energie statt, und nach einer gewissen, allerdings vielleicht sehr langen Zeit, wird die kinetische Energie bis zu jenem Werte abgenommen haben, bei welchem die Aggregation der Einheiten zu Gruppen von je zweien beginnt. Später werden sich Aggregate bilden, welche eine größere Anzahl von Einheiten enthalten. Die weitere Aggregation dieser komplexen Gruppen hängt nun nicht ausschließlich von der Geschwindigkeit des Aggregates als Ganzes ab, sondern auch von den relativen Geschwindigkeiten der Korpuskeln innerhalb des Aggregates. Sinkt die kinetische Energie der einzelnen Korpuskeln unter einen gewissen Wert, dann ist die Konstitution des Aggregates nicht permanent; die Anordnung der Korpuskeln, welche in einer gleichförmigen Bewegung stabil war, kann leicht durch eine andere ersetzt werden. Die ursprüngliche kinetische Energie des Aggregates (des materiellen Atoms)

wird infolge der Strahlung der schnell bewegten Korpuskeln abnehmen, bis der kritische Wert herannaht und die Bewegung sehr leicht gestört wird. Ist der kritische Wert erreicht, dann tritt die Katastrophe ein, die ursprüngliche Konfiguration zerfällt, die potentielle Energie des Systems nimmt schnell ab, während die kinetische Energie der einzelnen Korpuskeln um den gleichen Betrag zunimmt. Die Zunahme der Geschwindigkeit der Korpuskeln kann zur Folge haben, daß das Atom in zwei oder mehrere Systeme zerfällt, welcher Zerfall sich durch die Aussendung von α-Strahlen und der Emanation (Teilchen von vorübergehender Radioaktivität, welche in die Luft ausgesandt werden) bemerkbar macht. Mit der speziellen Gruppierung der Korpuskeln innerhalb des chemischen Atoms steht die Schwingungszahl des Systems im Zusammenhange, wie sie sich durch die Lage der Spektrallinien des Elementes zu erkennen gibt. Auch die Eigenschaften des chemischen Atoms, wie sie im periodischen Gesetz ihren Ausdruck finden, die elektrischen Eigenschaften des wirklichen Atoms, die Einteilung der Elemente in zwei Klassen, die elektropositiven und die elektronegativen, und schließlich die Valenz, vermögen nach THOMSON ihre Deutung auf der Grundlage seines Atommodells zu finden.

Wie ersichtlich, steht die Erklärung, welche THOMSON für die Erscheinungen der Radioaktivität liefert, in engster Abhängigkeit von der elektrischen oder elektronischen Auffassung der Konstitution des Stoffes. Eine Theorie zur Erklärung der Radioaktivität, welche einerseits das Feld der Spekulation bedeutend einschränkt und andererseits zu neuen Problemen führt, haben wir RUTHERFORD und SODDY zu verdanken. Die RUTHERFORD-SODDY'sche Theorie des Atomzerfalles, die Desaggregationstheorie, erheischt keinerlei Voraussetzung über die Struktur des chemischen Atoms, die über den ursprünglichen Atombegriff DALTON's hinaus sich erstrecken würde. Das „Zerfallen“ oder die „Desaggregation“ der Atome bedeutet nicht viel mehr als einen kurzen und zutreffenden Ausdruck für bestimmte Tatsachen der experimentellen Beobachtung. Erst die Frage nach den letzten Ursachen der Radioaktivität, nach dem kausalen Zusammenhange zwischen der beobachteten Desaggregation und den

Kräften, welche sie bewirken, leitet auf jenes Gebiet hin, für welches das Wort Hypothese in seiner gewöhnlichen Bedeutung Anwendung findet, indem zur beobachteten Tatsache weitere Annahmen hinzugedacht werden müssen, welche sich keineswegs auf Erfahrung zu stützen vermögen. Die RUTHERFORD-SODDY'sche Theorie des Atomzerfalles und die neuen Merkmale, welche sie dem DALTON'schen Atombegriff einzufügen vermag, sind bereits eingangs dieses Abschnittes flüchtig angedeutet worden. Die radioaktiven Elemente erleiden eine langsame, spontane Umwandlung in andere Elemente, welche Umwandlung lediglich mit Rücksicht auf die Masse des Materials eine langsame ist, indem in der Zeiteinheit nur ein äußerst winziger Bruchteil der gesamten Masse eine Umwandlung erleidet. Für die einzelnen Atome dagegen besteht die Umwandlung in einem plötzlichen Zerfallen oder Zerspringen. Jener bestimmte und kleine Teil des Ganzen, welcher in der Zeiteinheit seinen Zerfall erleidet, übt auf die Geschwindigkeit des Zerfallens der restlichen Atome keine Beschleunigung aus; hierdurch ist eine wichtige Unterscheidungslinie zwischen dem Atomzerfall radioaktiver Stoffe und dem plötzlichen Zerfallen der Moleküle eines explosiven Stoffes gezogen, da innerhalb einer explosiven Verbindung der Zerfall eines einzelnen Moleküls den Anstoß zum Zerfallen benachbarter Teilchen zu geben vermag, und die gesamte Masse in einem verschwindend kleinen Zeitraume ihre Zersetzung erfährt. Die Bruchstücke des zerfallenden Atoms erzeugen durch ihren Flug die α-Strahlung.

Die Theorie RUTHERFORD-SODDY's nimmt von dem radioaktiven Verhalten des Urans und des Thors ihren Ausgang. Die beiden Hauptstrahlungstypen des Urans (α und β Strahlen) gehen von zwei verschiedenen Arten von Radioelementen aus, von denen das eine, das Uran-X, die Quelle der β-Strahlung, in so geringer Menge vorhanden ist, daß es bislang durch kein anderes Mittel als durch seine Radioaktivität nachzuweisen war. Die α-Strahlung dagegen ist eine spezifische Eigenschaft der übrigen Uranmasse und wird durch die Abscheidung des Uran-X nicht beeinträchtigt. Die Abtrennung des Uran-X von dem gesamten Uranpräparat kann auf verschiedene Weise erfolgen. Auf rein chemischem Wege gelangte CROOKES[484] zum Ziel, indem er beispielsweise eine Uran-

[484] Proceedings of the Roy. Society 66/409, 1900.

salzlösung mit Ammoniumkarbonat in solcher Menge versetzte, daß der anfänglich entstehende Niederschlag von Uranylammoniumkarbonat wieder in Lösung ging bis auf eine verschwindend kleine Menge an Eisen und Aluminium, den Verunreinigungen des Uranpräparates. Durch Filtrieren der alkalischen Uranlösung konnten in Form dieser Verunreinigungen Präparate gewonnen werden, welche die gesamte β-Strahlung des Uransalzes konzentriert enthielten, indem sie mehrere hundertmal stärker die photographische Platte beeinflußten als das Ausgangsmaterial. Die weit intensivere α-Strahlung des ursprünglichen Uransalzes wird durch diesen Abscheidungsprozeß des Uran-X in keiner Weise beeinflußt. Mit anderen Mitteln geht die Methode BEQUEREL's[485] zu Werke, indem Uran- und Barytsalzlösungen vereinigt und mit Schwefelsäure gefällt werden, wobei das entstehende Baryumsulfat das Uran-X mitreißt. An sich wäre die Abscheidung eines neuen Elementes aus Uransalzen, sei es in noch so geringer Menge, im Bereiche bisheriger chemischer Vorstellungen nichts fremdes. Völlig neu jedoch wirkt die Erscheinung der mit der Zeit sich vollziehenden Erneuerung der β-Strahlung im Uran und das Verschwinden der β-Strahlung im Uran-X. Die Aktivität des Uran-X nimmt mit der Zeit in geometrischer Progression derart ab, daß sie in ungefähr 22 Tagen auf den halben Wert gesunken ist, und annähernd gleich ist die relative Zunahme der β-Aktivität des Urans. Beobachtungen der gleichen Art sind von RUTHERFORD und SODDY[486] an Thorsalzen gemacht worden, indem durch Fällung mittels Ammoniak das Thor vom Thor-X getrennt werden kann.[487] Das gefällte Thorhydroxyd hat den größten Teil seiner ursprünglichen Radioaktivität verloren, und durch Auflösen und Wiederholen des Fällungsprozesses kann seine Radioaktivität auf den vierten Teil des normalen Wertes herabgedrückt werden; dieser letzte Teil, die nicht abtrennbare Radioaktivität, besteht nur aus α-Strahlen; die β-Strahlung wird vollständig vom Thor-X zurückgehalten und findet sich im Filtrate. Wird dieses zur Trockne eingedampft und der Rückstand er-

---

[485] Comptes rend. 133/977, 1901. — [486] Proceedings 18, S. 2 u. 120, (1902). — [487] Neuerdings ist es SACKUR (Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft 38/1756) gelungen, mittels Baryumsulfat-Fällung das Thor-X vom Thor zu trennen.

hitzt, um die Ammoniumsalze zu verflüchtigen, dann ist, zwar nicht mittels der Wage, wohl aber durch das Elektroskop, die Existenz eines Stoffes nachzuweisen, der eine bedeutend stärkere Radioaktivität besitzt als das ursprüngliche Thorsalz, und außer den α- und β-Strahlen eine radioaktive Emanation aussendet. In drei bis vier Wochen hat das Thor-X seine Radioaktivität fast gänzlich verloren, dagegen hat das Thor in dieser Zeit seine verlorene Radioaktivität vollständig wiedererlangt, und das gleiche gilt von dem Emanationsvermögen dieser beiden Präparate. Wird nun das Thor, dessen Radioaktivität regeneriert ist, von neuem durch Ammoniak gefällt, so ist aus dem Filtrat eine neue Menge an Thor-X von der gleichen Radioaktivität wie die zuerst gewonnene erhältlich, und das Thor hat wiederum den größten Teil seiner Radioaktivität verloren. Dieser Zyklus von Operationen kann beliebig oft wiederholt werden. Wenn aber die Fällungen in kurzen Zeiträumen aufeinander folgend vorgenommen werden, so wird die Radioaktivität des Thors doch in keinem Falle unter einen gewissen Minimalwert herabgedrückt. Ist dieser Minimalwert erreicht, dann fehlt das Thor-X in den Filtraten, sie sind völlig inaktiv. Mit der Länge des Zeitintervalles, das zwischen zwei Fällungen verfließt, wächst auch die Menge des zu gewinnenden Thor-X, wobei nach gleichen Regenerationspausen die gleichgroßen Mengen an Thor-X auftreten. In allen diesen Fällen bildet die Strahlungsintensität das einzige Mittel zur Bestimmung der relativen Mengen an Thor-X.[488]

Der Erklärung dieser ungeahnten Erscheinungen stehen nun zwei Wege offen. Wird das Thor-X — und genau das gleiche gilt von dem Uran-X — als spezifische Stoffart betrachtet, dann

[488] Ein ähnlicher Fall, wie er für das Verhältnis von Thor zu Thor-X gilt, ist in jüngster Zeit von MARCKWALD (Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft 38 2264) erforscht worden. Aus Radiummutterlaugen abgeschiedene Edelerden werden in Chloride überführt und durch Thiosulfat stark emanierendes Thor gefällt, während das n a c h h e r aus der Lösung abgeschiedene Lanthan-Didymoxydgemenge keine erhebliche Aktivität zeigte. Nach mehrmonatlicher Frist hatte das Thor sein Emanationsvermögen eingebüßt, während sich beim Lanthan-Didymoxydgemenge im ähnlichen Tempo das Emanationsvermögen wieder einstellte. Über weitere analoge, aktive Neubildungen in „Emaniumpräparaten" siehe GIESEL a. a. O. S. 775.

läßt sich ihr Verhältnis zum Thor selbst nur dadurch erklären, daß sie vom Thor, als dem Mutterelemente, fortdauernd erzeugt wird; dem Thor muß somit die Fähigkeit zugeschrieben werden, sich in Thor-X zu verwandeln. Die zweite Erklärungsart bestünde in der Annahme, daß Thor-X ein inaktiver Stoff sei, in welchem durch das Thor starke Radioaktivität „induziert“ worden ist.[487] Die Fülle von Tatsachen, welche die radioaktive Forschung der letzten Jahre gezeitigt hat, spricht gegen diese letztere Erklärungsart, während die erstere, die Annahme einer langsamen, spontanen Verwandlung eines Elementes, geeignet ist, die einzelnen Forschungsergebnisse in einen übersichtlichen Zusammenhang zu bringen. Die Umwandlung des Thors in Thor-X besteht für das einzelne Atom in einem plötzlichen Zerfallen in kleine Fragmente, die α-Teilchen. Die relative Menge der zerfallenden Atome beträgt in der Zeiteinheit nur einen bestimmten und kleinen Bruchteil des Ganzen, dessen Zerfall auf die Umwandlung der restlichen Masse des Elementes keinerlei Beschleunigung ausübt. Das zerfallende Atom geht durch mehrere Etappen hindurch in den Endzustand über. So durchläuft das Thoratom, bevor es den Endzustand erreicht, mindestens eine Folge von fünf separaten Zersetzungsprozessen, deren jeder plötzlich und explosionsartig erfolgt, und durch die Ausstrahlung von α-Teilchen sich kundgibt. Auch das Radiumatom durchläuft wahrscheinlich fünf einzelne Zersetzungen, während beim Uran bisher nur zwei Stadien erforscht sind. Es existiert somit eine gewisse Anzahl kurzlebiger Übergangsformen zwischen den ursprünglichen Atomen und jenen, in welche die ersteren umgewandelt werden. RUTHERFORD und SODDY haben für derartige unbeständige Atome den Namen „Metabolon“ (Verwandlung) vorgeschlagen; er bezeichnet die Haupteigenschaft, durch welche diese Art von Atomen charakterisiert ist. Ein Metabolon ist ein Atom von begrenzter Lebensdauer; so lange es existiert, zeigt es den allgemeinen Charakter des chemischen Atoms, im Momente seines plötzlichen Zerfalles

[487] Über die Frage, ob reines Thor selbst nicht aktiv ist und seine Aktivität nur der Beimengung eines ihm chemisch außerordentlich ähnlichen, stark aktiven Elementes verdankt, siehe namentlich: HOFFMANN und ZERBAN a. a. O. 36 3093, SACKUR a. a. O. 38 1756. GIESEL a. a. O. S. 2334. HAHN a. a. O. S. 3371.

zeigt es die Eigenschaften der Radioaktivität. Die Umwandlung des Atoms vollzieht sich unabhängig von allen chemischen und physikalischen Agentien, deren Einwirkung der radioaktive Stoff ausgesetzt wird. Es fehlt an jeder Möglichkeit, die Umwandlung des Atoms nach irgendwelcher Richtung hin zu beeinflussen, geschweige denn sie zu hemmen. Die „Unteilbarkeit" des Atoms erhält somit, analog der Unteilbarkeit des chemischen Elementes, den ausdrücklichen Sinn einer bloßen Konsequenz unserer persönlichen Unfähigkeit, das chemische Atom zu teilen, wobei die natürliche Möglichkeit eines derartigen Prozesses unangetastet bleibt.[490] So lange das Metabolon existiert, verhält es sich wie ein gewöhnliches Atom, das Herannahen seines Endes gibt sich in keiner Weise zu erkennen. Infolge einer inneren Umwälzung, über deren Ursache und Verlauf kaum eine Vermutung besteht, fliegt das Metabolon plötzlich auseinander, während gleichzeitig der übrige, größte Teil des Stoffes aus gewöhnlichen, inaktiven Atomen besteht.

Die Entdeckung der Übergangsformen läßt es klar erkennen, daß die Radioaktivität eine Eigenschaft ist, welche dem betreffenden Elemente nur von einer konstanten Fraktion seiner Atome erteilt wird, so daß keinesfalls jedes einzelne Atom eines radioaktiven Stoffes als konstante Quelle der Strahlung aufzufassen ist. Diese Erkenntnis empirischer Natur gießt ihr Licht über die gesamte Weite des Stoffproblems aus. Denn unter der Voraussetzung einer nichtatomistischen, einer kontinuierlichen Beschaffenheit des Stoffes blieben die Erscheinungen der Radioaktivität in rätselhaftes Dunkel gehüllt. Eine schrittweise Änderung, welche nach und nach durch die gesamte Masse sich fortpflanzt, sowie deren Folge: die stoffliche Ausstrahlung in den Raum, erscheint nur im Lichte der Voraussetzung einer diskontinuierlichen Struktur des Stoffes, nur auf Basis der Atomistik erklärlich. So bildet das Atom DALTON's ein scharf gekennzeichnetes und reales Stadium in der Mannigfaltigkeit der Umwandlungsprozesse, welche die radioaktiven Stoffe zu durchlaufen vermögen. „Man kann

[490] Der Ausdruck „zerfallendes Atom" schließt somit keine contradictio in adjecto in sich.

sagen, daß die Theorie, welche DALTON der modernen Chemie zugrunde legte, durch die Entdeckung der Natur der unteratomigen Umwandlung eine positive Bestätigung erfahren hat."[491] Von allen möglichen Formen, welche das Metabolon anzunehmen vermag, bilden die Atome des periodischen Gesetzes wahrscheinlich nur eine beschränkte Anzahl, nämlich die Formen von der längsten Lebensdauer, die heute existieren, weil sie einen langen Entwicklungsprozeß durchgemacht haben, in dessen Verlaufe die physikalisch untauglichen verschwunden sind. Derartige physikalisch untaugliche Formen kommen in Gestalt der radioaktiven, kurzlebigen Übergangsformen in den Bereich unserer Beobachtung, während die ursprünglichen Radioelemente die Übergangsglieder zwischen der Gruppe der stabilen chemischen Elemente und der Gruppe der physikalisch nicht lebensfähigen Stoffformen repräsentieren. Im Wesen der Radioelemente vereinigen sich die Merkmale beider Gruppen, sie sind zwar stetig in einer Umwandlung begriffen, die aber zu ihrer Vollendung eines so langen Zeitraumes bedarf, daß auch den Radioelementen nach unseren gewöhnlichen Zeitbegriffen Stabilität zu eigen ist. Die mittlere Lebensdauer des Radiumatoms beträgt, schätzungsweise aus dem Volumen der Emanation berechnet, 1150 Jahre, und nach den Berechnungen BECQUEREL's sind nicht weniger als 1000000000 Jahre erforderlich, damit sich das Gewicht eines radioaktiven Stoffes um 0,001 gr vermindere. Der langsame Verlauf des unaufhaltsamen Umwandlungsprozesses ermöglicht die Untersuchung einiger unbeständiger Stoffformen, und so konnte SODDY die Radioaktivität als die „Chemie der ephemeren Elemente" definieren.

Ein besonderes Kennzeichen der „radioaktiven Umwandlung" verdient hervorragendes Interesse, da es die qualitative Natur des chemischen Atoms von einer ganz neuen Seite her zu beleuchten vermag. Die radioaktive Umwandlung verläuft derart, daß sich in der Zeiteinheit ein konstanter Bruchteil der Gesamtzahl der Atome umwandelt, sie befolgt daher das gleiche Gesetz wie die unimolekulare[492] chemische Reaktion. Die Reaktionen, deren

[491] SODDY: Die Entwicklung der Materie, enthüllt durch die Radioaktivität. a. a. O. S. 24. — [492] Vergleiche NERNST: Theoretische Chemie, IV. Aufl. S. 54[illegible].

Verlauf bisher tatsächlich als unimolekular erkannt wurde, sind fast insgesamt endothermischer Natur, das heißt, sie sind mit Absorption von Wärme verbunden, während die radioaktive Umwandlung exotherm ist, das heißt, unter Wärmeentwicklung verläuft. Nach den kalorimetrischen Untersuchungen von CURIE und LABORDE[493] entwickelt 1 g Radium in der Stunde ungefähr 100 Grammkalorien oder eine genügende Wärmemenge, um 1 g Wasser in 36 Sekunden um einen Grad zu erwärmen. Die in 40 Stunden entwickelte Energie würde hinreichen, 1 g Wasser vollständig in seine Bestandteile, Wasserstoff und Sauerstoff, zu zerlegen. Einer derartigen Wärmeentwicklung kann keine der gewöhnlichen chemischen Reaktionen zugrunde liegen; die Wärmemengen, welche die Umwandlung von Atomen begleiten, übertreffen durch ihre Größe alle bisherige Erfahrung. Da nun höchstwahrscheinlich bei weitem der größte Teil der beim Zerfallen des Radiumatoms frei werdenden Energie als die kinetische Energie der fortgeschleuderten α-Teilchen auftritt, so wird die gesamte Wärmewirkung bis auf einige Prozent durch das Bombardement verursacht, welches die Masse des Radiums und die Gefäßwände, welche sie einschließen, durch die fortgeschleuderten α-Teilchen erleiden. Reaktionen, welche gleich der radioaktiven Umwandlung exothermer Natur sind, erfahren durch die Wärmeentwicklung des eigenen Verlaufes eine beträchtliche Erhöhung ihrer Geschwindigkeit; im allgemeinen tritt bei der überwiegenden Zahl derartiger Reaktionen durch Ansteigen der Temperatur um 10° eine Verdopplung bis Verdreifachung ihrer Geschwindigkeit auf.[494] Im strikten Gegensatze zu dieser Erscheinung vermögen äußere Bedingungen die radioaktive Umwandlung nach keiner Richtung hin zu beeinflussen. Wo ist daher die Ursache zu suchen, welche die Geschwindigkeit der radioaktiven Umwandlung regelt und ihren eigentümlichen Verlauf bedingt, dessen Resultat der Zerfall eines bestimmten Bruchteiles aus der Gesamtzahl der Atome ist? Warum ist die Umwandlung der Atome eines radioaktiven Stoffes auf einen ungeheuren Zeitraum verteilt, ungleich anderen chemischen Reak-

[493] Compt. rend. 136 673, 1903. — [494] Siehe VAN'T HOFF: Chem. Dynamik S. 222 ff.

tionen, da doch schließlich alle Atome zerfallen und riesige Energiemengen frei werden? Angesichts der Einflußlosigkeit aller äußeren Faktoren vermag die Antwort auf diese Frage offenbar nur zur Voraussetzung einer individuellen Verschiedenheit der einzelnen Atome des radioaktiven Stoffes ihre Zuflucht zu nehmen. Die betreffende Ursache muß in der inneren Struktur des Atomes gesucht werden. Neben der Zerfallbarkeit ist somit die individuelle Verschiedenheit zwischen den Atomen ein und desselben Stoffes die zweite Umwälzung im Kreise DALTON'scher Vorstellungen über das chemische Atom. Die Atome desselben Elementes sind nach der Theorie DALTON's durchgehends gleicher Art und von den Atomen eines zweiten Elementes durch das Gewicht und durch wesentliche und erkennbare Eigenschaften verschieden. Der Verlauf der radioaktiven Umwandlung zwingt zu einer hiervon abweichenden Annahme, zur Vorstellung von einer inneren Struktur des Atoms, deren wesentlichstes Kennzeichen eine äußerst schnelle und unregelmäßige Bewegung ist. Als vorläufige Vorstellung über die innere Struktur des Atomes schlägt SODDY[495] vor, anzunehmen: „daß die inneren Teile eines Atoms in äußerst *schneller* Bewegung begriffen sind, so daß zwar chemische Unterschiede zwischen Atomen verschiedener Phase existieren, und daß diese durch geeignete Prozesse voneinander getrennt werden können, daß aber die Umkehrung der entgegengesetzten Phasen zum allgemeinen Mittel so schnell erfolgt, daß nach der Trennung kein Unterschied zwischen den beiden Teilen zu entdecken ist". Im Rahmen dieser Auffassung werden die typischen chemischen Eigenschaften eines Elementes zu Durchschnittseigenschaften, denn die individuellen Eigentümlichkeiten der einzelnen Atome vermögen innerhalb gewisser Grenzen zu variieren, welche keineswegs enge sein müssen.

Die Fähigkeit zu radioaktiver Umwandlung ist nicht lediglich ein Charakteristikum der Atome der Radioelemente; nach neueren Untersuchungen scheint diese Fähigkeit von allgemeiner Verbreitung zu sein, wenn auch die in Frage kommenden Aktivitäten im Durchschnitte tausendmal schwächer sind als jene des Urans.[495a]

[495] Die Radioaktivität vom Standpunkte der Desaggregationstheorie, a. a. O. S. 187. — [495a] Siehe CURIE: Untersuchungen über die radioaktiven Stoffe. Übersetzt von KAUFMANN. S. 15, Fußnote 2 und litterarische Ergänzungen hierzu Braunschweig 1904.

Im Zusammenhange mit dieser umfassenden Verbreitung der Radioaktivität steht die Allgegenwart der Elektronen. Ihre fundamentale Rolle im Verlaufe aller optischen, aller elektrischen und magnetischen Erscheinungen ist seit langem festgelegt, ihre merkwürdigste Quelle, die radioaktiven Stoffe, beträchtlich erforscht. Und auch das Schlußglied zum Nachweis ihrer Allgegenwart ist nunmehr vollendet, da der Nachweis ihrer freien Existenz in der atmosphärischen Luft erbracht ist.[496] Somit hat das Stoffproblem durch die physikalische und die chemische Forschung der letzten Jahre eine Wendung genommen, wie sie eigenartiger die kühnste Phantasie nicht zu erträumen vermocht hätte. Als letzte Konsequenz aller Forschung über die Erscheinungen der Radioaktivität tritt uns die Idee entgegen, daß die Atome der chemischen Elemente völlig aus Elektronen aufgebaut sind, daß am Ende aller Stoff nur kondensierte Elektrizität darstellt und sich unter den geeigneten Umständen wiederum in seine Urpartikelchen, mit ungeheurer Energie begabt, aufzulösen vermag. Unsere weitgehenden Betrachtungen über den logisch-psychologischen Ursprung des Satzes von der Erhaltung des Stoffes[497] gaben uns Gelegenheit zur Kenntnisnahme jenes Strebens nach dem Begriff eines beharrlich Seienden, einer absolut beharrenden Grundlage im unendlichen Wechsel der Naturerscheinungen. Dieses Streben, im Kindheitsalter des menschlichen Geistes erwacht, taucht nach mehr als zweitausendjähriger, schicksalsvoller Emporentwicklung mit dem Einsetzen der Naturwissenschaften neuerdings auf, nunmehr mächtig belebt von der gebieterischen Forderung nach einer Verknüpfung der gegebenen Erfahrungstatsachen zu einem möglichst einfachen, lücken- und widerspruchslosen System. In den Substanzhypothesen der Chemie wie der Physik, der Idee von der Urmaterie wie der Ätherhypothese, erkennen wir die Abkömmlinge dieses Strebens. Die Resultate nun, welche die physikalische Erforschung der radioaktiven Phänomene zutage förderte, vermögen diesem Einheitsbedürfnis in der Naturwissenschaft auf das glänzendste gerecht zu werden. Die Elektronen sind die letzten Realitäten des

[496] Wilson, Zeitschr. f. angew. Chem. 1901 1034. Elster und Geitel, Physikalische Zeitschr. 2 560, 1901. — [497] Siehe S. 4 ff.

Stoffes, Elektrizität somit das Material zum Aufbau der Atome unserer Elemente; doch was ist Elektrizität selbst? Lichtäther in einem besonderen Zustande, den näher zu beschreiben der Physik bisher versagt ist, da er ebenso eine Verdichtung wie eine Verdünnung betreffen kann, oder eine besondere Art der Bewegung, etwa eine Rotation oder eine andere Art. Sobald an einer Stelle des Raumes der allgegenwärtige Lichtäther diesen Zustand annimmt, gehen von jener Stelle Wirkungen aus, die wir mit dem Begriff der Elektrizität und ihrer Gesetze umfassen. Der Lichtäther ist somit der allumfassendste Urstoff; aus seinem Schoße gehen die Elemente hervor, die Voraussetzung seiner Existenz, als der letzten Tatsache, die sich der unmittelbaren Erfahrung entzieht, ist die einzige Hypothese, deren die Naturwissenschaft zur Erreichung ihres Endzieles nicht zu entraten vermag. Noch fallen tiefe Schatten über das glänzende Bild, trotz seiner weithin sich eröffnenden Perspektive über das Leben des Kosmos als eines „konservativen Systems, welches weder in bezug auf die Zukunft noch in bezug auf die Vergangenheit begrenzt ist, und welches für den Anfang keinen Schöpfungsakt und für das Ende keinen Zustand der Erschöpfung erfordert" (Soddy), dessen unendliche Mannigfaltigkeit an Naturprozessen zyklischer Entwicklung fähig ist, indem die schweren Elemente auf der einen Seite des Zyklus durch ihren Zerfall unaufhörlich einen gewissen Vorrat an nutzbarer Energie liefern, während die leichteren Elemente durch die Vereinigung von Massen von vielleicht elektronischen Dimensionen kontinuierlich anwachsen und zugleich die im entgegengesetzten Prozesse verbrauchte Energie aufspeichern. Noch ist die Ursache des spontanen Atomzerfalles außer dem Bereiche jeder Vermutung, noch sind die Pfade kaum ausfindig gemacht, welche von dem so völlig neuen Phänomen der Radioaktivität zu den Grundgesetzen hinführen, welche die gewöhnlichen atomistischen und molekularen Erscheinungen beherrschen. So steht kaum zu erwarten, daß der Satz von der Erhaltung des Stoffes, in der Chemie des stabilen Atoms Axiom und Erfahrungssatz zugleich, seine Gültigkeit auch im Bereiche der radioaktiven Erscheinungen behaupten wird, denn, wie erinnerlich, haben die Untersuchungen

KAUFMANN's[498] den experimentellen Beweis für die Zunahme der Masse des Elektrons geliefert, im Falle sich seine Geschwindigkeit der Lichtgeschwindigkeit nähert. Es muß daher die Masse des Atoms nach dem Zerfallen geringer sein als vorher, da im Laufe der radioaktiven Umwandlung in Form der β-Strahlen Elektronen ausgesandt werden, deren Geschwindigkeit derjenigen des Lichtes sehr nahe kommt. Und auch das bisherige Grundgesetz der Elektrizität, das Gesetz der Äquivalenz der elektrischen Ladungen, nach welchem in einem ursprünglich elektrisch neutralen System positive und negative Elektrizität immer in gleichen Mengen entstehen, dürfte sich kaum einer Anwendung auf die tief eingreifenden Umwandlungen, welche im Verlaufe radioaktiver Prozesse innerhalb des Atomes vor sich gehen, fähig erweisen.

[498] Vergleiche Seite 256.



Die erkenntnistheoretischen Überlegungen FRANZ WALD's. OSTWALD's Bestrebungen zur hypothesenfreien Ableitung der stöchiometrischen Grundgesetze.

„Wenn wir (andererseits) eine physikalische Hypothese wählen, so sehen wir die Erscheinungen wie durch eine gefärbte Brille und sind zu jener Blindheit gegen Tatsachen und Voreiligkeit in den Annahmen geneigt, welche eine auf einem einseitigen Standpunkt stehende Erklärung begünstigt," so läßt sich MAXWELL in seiner ersten grundlegenden Arbeit: „Über FARADAY's Kraftlinien"[499] vernehmen. Der Atombegriff DALTON's, die gefärbte Brille des Chemikers, ist aus dem Begriff des chemischen Elementes hervorgegangen, wie er mit ROBERT BOYLE, von allem alchemistischen Beiwerke gereinigt, sich durchringt. Die unveränderlichen Elementarbestandteile der Naturstoffe aufzufinden, ist seit BOYLE das bestimmte Ziel der chemischen Forschung, im großen Gegensatze zur endgültig überwundenen, alchemistischen Epoche. Indem hierbei der Satz von der Erhaltung des Stoffes neben seinem axiomatischen Charakter immer mehr als rein erfahrungsmäßige Tatsache in den Vordergrund rückt, werden die theoretischen Ansichten in der Chemie dahin gedrängt, die chemischen Erscheinungen als Gruppierungen von an und für sich unveränderlichen Elementen aufzufassen. Diese Auffassung findet ihre endgültige Verwirklichung in der Atomhypothese DALTON's. DALTON's Atomhypothese vermag der fortdauernd anschwellenden Fülle von chemischen Erfahrungstatsachen gegenüber allen Anforderungen Genüge zu leisten, die billigerweise an eine naturwissenschaftliche Hypothese zu stellen sind. Der Valenzbegriff

---

[499] OSTWALD's Klassiker Nr. 69.

in seiner Entwicklung, die Idee von der Atomverkettung und der räumlichen Lagerung der Atome etc., alle diese Hülfsvorstellungen vermögen die Schwierigkeiten zu überbrücken, die auftauchen, sobald eine neue Gruppe bestimmter Erscheinungen im Zeichen der Atomhypothese ihre Erklärung erheischt. Immerhin aber bleibt ein Rest von Fragen, welcher innerhalb der Schranken der Atomhypothese keinerlei Diskussion fähig ist, und die ersten Versuche, diese begrifflichen Schranken zu durchbrechen, werden nunmehr von FRANZ WALD[509] fast durch ein Jahrzehnt mit vielem Erfolge durchgeführt. WALD legt in erster Linie die Sonde seiner scharfsinnigen, erkenntnistheoretischen Überlegungen an die wichtigsten Grundbegriffe der Chemie. Aus der besonderen Fassung ihrer Grundbegriffe erwächst der Chemie eine Beschränkung ihres Arbeitsfeldes, die aufzuheben es gilt. In zweiter Linie ist es WALD geglückt, die Gesetze der einfachen und multiplen Proportionen aus sehr einfachen Prämissen, welche keinerlei hypothetische Elemente in sich schließen, abzuleiten.

Im Sinne einer jeden atomistischen Auffassung der Struktur des Stoffes, bietet die Natur fertig gebaute Atome und Moleküle dar, stellen sich chemische Elemente und chemische Verbindungen dem menschlichen Geiste als fertig existierende Gebilde vor, während der unbefangene Beobachter sie als Produkte oft sehr schwieriger und weitläufiger Operationen, mit einem Worte als Präparate, zu betrachten weiß. Im Bannkreise der Atomhypothese vermag somit der Chemie nur die Aufgabe zufallen, wohl definierte Verbindungen der Atome zu studieren, während veränderliche Mischungen der Elemente und Verbindungen als durchaus unchemische Stoffe aus dem wahren chemischen Studium ausgeschlossen werden müssen, oder höchstens als Rohmaterialien für die Gewinnung chemischer Individuen geschätzt werden können. Die wissenschaftliche Chemie hätte darnach konsequenterweise zum Beispiel nur reines Chlornatrium und reines Wasser zu behandeln, während die Untersuchung einer Lösung von Chlornatrium in Wasser im eigentlichen Sinne der Physik zufällt,

---

509) Die Originalarbeiten siehe in den Bänden 18, 22, 23, 24, 26, 28 der Zeitschr. f. physikal. Chemie, sowie Annal. der Naturphilosophie Bd. 1, 2, 3. Zusammenfassende Darstellung: Journal of Physical Chemistry I 21.

jedoch tatsächlich in der physikalischen Chemie zur Durchführung gelangt, einem Gebiete, welches der Chemie den Stoff, der Physik die Methode entnimmt. Bei dieser Einschränkung des rein chemischen Forschungsgebietes ist der Gedanke mittätig, daß die Ursachen, welche eigentliche chemische Verbindungen entstehen lassen, prinzipiell verschieden sind von jenen, welche aus derartigen Verbindungen veränderlich zusammengesetzte, homogene Mischungen machen können. Kräfte, welche zwischen den Atomen tätig sind, bewirken nach unseren derzeitigen Vorstellungen das Entstehen von Stoffen von konstanter Zusammensetzung, Kräfte, welche zwischen den Molekülen wirken, rufen die Bildung von Stoffen veränderlicher Zusammensetzung hervor, demnach die Bildung physikalischer Mischungen oder Mischungen verschiedener Molekülgattungen. Dieser Grundvorstellung, daß es prinzipiell verschiedene Ursachen sind, durch welche einerseits homogene „chemische“ Verbindungen, andererseits homogene „physikalische“ Mischungen (wie zum Beispiel Lösungen) entstehen, einer Vorstellung, welche mit dem Ideenkreise der Atomhypothese notwendigerweise verbunden ist, setzt nun WALD die Idee entgegen, daß wir es in beiden Fällen mit wesentlich gleichen Erscheinungen zu tun haben, und daß nur mehr oder weniger zufällige und unwesentliche Momente darüber entscheiden, ob Stoffe von konstanter oder Stoffe von veränderlicher Zusammensetzung entstehen. Somit ist die Zusammensetzung eines jeden Stoffes prinzipiell als veränderlich aufzufassen; so wechselt zum Beispiel die Zusammensetzung einer „gesättigten“ Alaunlösung mit der Temperatur ganz bedeutend, diejenige einer Chlornatriumlösung bei Gegenwart eines Salzüberschusses zwischen etwa − 10° C. bis 80° C. nur ziemlich wenig, und diejenige einer anderen Chlornatrium-Wasserverbindung bei Gegenwart der ersteren (der „Lösung“) unterhalb etwa − 10° C. gar nicht, oder wenigstens nicht in merklicher Weise. Die letztere Chlornatrium-Wasserverbindung faßt man gewöhnlich als „chemische“ Verbindung (und zwar als Molekular-Verbindung) auf, und gibt ihr die Formel: $NaCl.2H_2O$. Im Sinne der WALD'schen Auffassung, die sich außerhalb der Grenzen jedweder Voraussetzung über die atomistische Konstitution des Stoffes

bewegt, erscheint aber eine „chemische“ Verbindung nur als ein besonderer Fall, ein Grenzfall homogener, veränderlich zusammengesetzter Mischungen, und zwar als derjenige, bei welchem aus besonderen zufälligen Ursachen die gewöhnlich vorhandene größere oder kleinere Veränderlichkeit der Zusammensetzung bis auf einen unmerklichen Betrag herabgesunken ist. Von diesen Gesichtspunkten aus vermag WALD den stöchiometrischen Gesetzen, die wir als „unbegreifliche Launen der Natur anzustaunen gezwungen sind“, das Wunderbare zu benehmen. „Über dieses Staunen sind wir bei den chemischen Verbindungen bis heute nicht hinausgekommen, und diesem Umstande verdankt die Atomtheorie den besten Teil ihres Ansehens in der Chemie; nur sie hilft uns ja über eine Kluft hinweg, welche ganz unüberbrückbar zu sein scheint. Das Wunderbare an den Gesetzen der chemischen Proportionen ist also, daß man Beziehungen findet, wo man keine vermutet hat. Es entsteht die Frage, ob wir denn wirklich keinen Anlaß haben, das Bestehen irgendwelcher Beziehungen in der Zusammensetzung chemischer Verbindungen zu erwarten?“[501] Inwiefern nun die Antwort auf diese Frage aus einfachen Vorstellungen über Mischungsprozesse abgeleitet wird, welche nicht chemischer Natur sind, aber den bekannten chemischen Prozessen doch entsprechend ähnlich sind, möge der Originalabhandlung selbst entnommen werden. Ebenso die Ermittlung weiterer Beziehungen, welche in den Gehalten derartiger physikalischer Mischungen eingehalten werden müßten, wenn diese Mischungen ein analoges Verhalten wie chemische Verbindungen besitzen sollen. Die rechnerische Ermittlung dieser Beziehungen liefert schließlich den Beweis für das Gesetz der multiplen Proportionen. Das Gesetz der konstanten Proportionen, nach welchem jede chemische Verbindung unabhängig von der Art ihrer Entstehung oder ihres Vorkommens stets dieselbe Zusammensetzung besitzt, hat sich bekanntlich im Laufe der Zeit empirisch ergeben. Zu Ende des 18. Jahrhunderts ist dieses Gesetz teils stillschweigend, teils ausdrücklich als richtig anerkannt worden; allein zu Beginn des nächsten Jahrhunderts ist es, wie erinnerlich, von BERTHOLLET[502] ausdrücklich bestritten worden; denn der Satz von der Konstanz

[501] Zeitschrift für physikalische Chemie 22/258. — [502] Vergl. Seite 196 ff.

der Mengenverhältnisse innerhalb jeder chemischen Verbindung hätte die Kreise seiner genialen Idee gestört: die Mannigfaltigkeit der chemischen Erscheinungen auf bestimmte, unveränderliche Grundeigenschaften des Stoffes in derselben Art zurückzuführen, wie die Astronomie die Himmelserscheinungen einem einheitlichen Prinzip, dem der allgemeinen Gravitation, unterzuordnen vermag. Berthollet war durch seine Idee in den klassischen Streit mit seinem Landsmanne Proust verwickelt worden, der durch glänzende Analysen die Gültigkeit des Gesetzes der konstanten Proportionen von neuem festlegte. Seit dieser Zeit gehört dieses Gesetz zu den Fundamentalsätzen der Chemie und hat alle Prüfungen siegreich überstanden. Ist nun das Gesetz von den konstanten Proportionen tatsächlich nicht anders aufzufassen, denn als rein empirisches Gesetz? Tritt der Fall ein, daß ein Stoff, der den chemischen Verbindungen zugezählt worden war, sich später als je nach den Umständen in seiner Zusammensetzung variabel erweist, dann wird daraus keineswegs auf die Unrichtigkeit des Gesetzes von den konstanten Proportionen geschlossen, es wird einfach der betreffende Stoff aus der Reihe der chemischen Verbindungen ausgeschieden. Die Erkenntnis, daß gewisse Mischungen eine beständige Zusammensetzung haben, ist eine rein empirische, die Feststellung jedoch, daß alle diese Stoffe, und nur diese, als chemische Verbindungen zu gelten haben, ist im Sinne Wald's eine willkürliche. Daher kommt chemischen Verbindungen eine konstante Zusammensetzung ex definitione zu. Stoffe, welche dieser Bedingung nicht Genüge leisten, sind eben keine chemischen Verbindungen. Diese Definition der chemischen Verbindungen erläutert nun Wald mit Hülfe jener Begriffe, wie sie durch die Phasenregel Gibbs'[503] in die Wissenschaft eingeführt wurden. Gibbs nennt jeden homogenen Stoff von veränderlicher Zusammensetzung eine Phase.

---

[503] Als kurze Darlegungen vergl. Meyerhoffer: Die Phasenregel, ferner van't Hoff: Die Phasenlehre. Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft 35/4252. Neuerdings Meyer: Die Phasentheorie und ihre Anwendung. Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge, herausgegeben von Ahrens. Band X, Heft 10.

In einer gesättigten Salzlösung, die überdies noch festes Salz am Boden des Gefäßes aufweist, kommen somit drei Phasen in Betracht: 1. das feste Salz, 2. die gesättigte Lösung, 3. der mit der Lösung in Berührung stehende Wasserdampf, wobei diese Lösung in einem allseitig geschlossenen, luftleeren Gefäße befindlich gedacht wird. Derartige Phasen, welche in direkter Berührung stehen und ihre Menge oder ihre Zusammensetzung gegenseitig zu beeinflussen vermögen, nennt Gibbs koexistente Phasen — vorausgesetzt, daß sie in ihren Wechselwirkungen den Gleichgewichtszustand bereits erreicht haben. Ändern wir die Temperatur unserer Lösung, dann wird die Menge des gelösten Salzes, sowie die Menge des mit der Lösung in Berührung stehenden Wasserdampfes eine Veränderung erleiden. Das feste Salz wird in unserem Beispiele wohl seine Menge, nicht aber seine Zusammensetzung ändern. Es gibt jedoch auch Beispiele, in welchen alle Phasen eine veränderliche Zusammensetzung aufweisen. Setzt man zu Karbolsäure eine kleine Menge Wasser hinzu, so wird nicht allein das Wasser Karbolsäure aufnehmen, sondern auch die Karbolsäure wird Wasser binden, und diese Mischungsverhältnisse erweisen sich mit der Temperatur (und in gewissem Grade auch mit dem Drucke) veränderlich. Die Erhöhung etwa der Temperatur einer gesättigten Salzlösung, die mit dem festen Salz noch in Berührung steht, kann im allgemeinen eine Änderung, zum Beispiel der Konzentration der Lösung, ihres Volumens, ihrer Dichte und so fort zur notwendigen Folge haben. Die Erhöhung der Temperatur: die „unabhängige Variation der Temperatur", ruft somit „abhängige Variationen" in den Eigenschaften der Lösung hervor. Die Gibbs'sche Phasenregel stellt nun ein wichtiges, allgemein gültiges Gesetz über die Zahl der unabhängigen Variationen dar, welche an einem Phasensystem vorgenommen werden dürfen, wenn die Zahl der Phasen hierbei ungeändert bleiben soll; diese Zahl der unabhängigen Variationen beträgt: $n + 2 - r$, wobei n die Anzahl der besonders definierten unabhängigen Bestandteile und r die Anzahl der Phasen ist. Im Geiste der Phasenregel können nun offenbar auch Änderungen in der Zusammensetzung von Phasen als Variationen aufgefaßt werden, welche je nach den Umständen unabhängig

oder abhängig erscheinen. Kommen nun abhängige Variationen der Zusammensetzung von Phasen in Betracht, so können sie von Phase zu Phase von sehr verschiedenem Betrage sein; ihre Größe hängt von der individuellen Beschaffenheit der koexistenten Phasen ab, und es ist sehr wohl möglich, daß sie für einzelne Phasen den Wert Null erreicht. In diesem Falle schenkt nun der Chemiker gerade den vermeintlich besonders resistenten, nur in ihrer Menge, nicht aber in ihrer Zusammensetzung veränderlichen Phasen eine besondere Aufmerksamkeit, er nennt sie „chemische Individuen“ und macht sie zum Hauptgegenstande seines Studiums. Die „reine“ Chemie würdigt die „chemischen Individuen“ ihres Hauptinteresses und beachtet die etwa dabei entstehenden anderen Stoffe nur ganz nebenbei. Im Kreise der Phasenregel jedoch sind alle diese Stoffe zum Gegenstand der Untersuchung geworden, sie erhalten Anspruch auf gleiche Aufmerksamkeit, und dies um so mehr, als sich die Phasenregel als Gesetz von umfassender Allgemeingültigkeit ganz unabhängig davon erweist, ob die koexistenten Phasen die bislang für vornehmer geltenden chemischen Individuen sind, oder ob einige oder alle Phasen die vom Chemiker minder geachteten veränderlichen Mischungen sind. Durch den Begriff der „Phase“ wird in dieser Art eine ausgiebige Erweiterung der Ziele der „reinen“ Chemie herbeigeführt. Die gewöhnliche Chemie, welche sich nur um Individualphasen interessiert, erscheint so im Sinne Wald's als ein sehr eng und ziemlich willkürlich begrenzter Teil eines viel weiteren Wissensgebietes, welches man als allgemeine Phasenlehre bezeichnen könnte. Dieses letztere Wissensgebiet müßte auch noch das Studium der veränderlich zusammengesetzten homogenen Lösungen (demnach die „physikalische Chemie“) umfassen.

Die Einführung des Begriffes der „Phase“ vermag jedoch des weiteren noch eine wichtige Verallgemeinerung und Verschärfung der in der „reinen“ Chemie landläufigen Begriffe zu bewirken. Im Lichte der bisher dargelegten Auffassungen Wald's kann ein gegebener Stoff vor allem nur dann als chemisches Individuum bezeichnet werden, wenn man dessen sicher ist, daß er in Koexistenz mit anderen Phasen gestanden hat, und daß er seine Zu-

sammensetzung hätte ändern können. Man muß des weiteren wissen, daß die anderen Phasen fähig waren, die Bestandteile desselben aufzunehmen oder abzugeben, und daß auch wenigstens eine unabhängige Variation (zum Beispiel der Temperatur, des Druckes, der relativen Menge eines Bestandteiles in einer veränderlichen Phase) stattgefunden hat, welche gewöhnlich abhängige Änderungen der Zusammensetzung der Phasen veranlaßt; daß ferner alle diese unabhängigen Variationen (soweit sie eben mit der Koexistenz der gegebenen Anzahl Phasen nach der Regel Gibbs' zulässig waren) vorgenommen wurden, und daß gleichwohl die eine, als chemisches Individuum angesprochene Phase in ihrer Zusammensetzung (wenn auch nicht in ihrer Menge) ungeändert geblieben ist. Kürzer gefaßt sind somit „chemische Individuen" Phasen, welche in einem Phasensystem mit wenigstens einer unabhängigen Variation entstanden sind, und bei allen mit dem Bestande des Phasensystems verträglichen Variationen merklich konstante Zusammensetzung behalten. Eine chemische Verbindung vermag immerhin ihre Zusammensetzung durch Aufnahme anderer Stoffe zu ändern, aber für jedes chemische Individuum muß es doch wenigstens ein variationsfähiges Phasensystem geben, in welchem es in konstanter Zusammensetzung entsteht. Mit dieser Darlegung ist die erste exakte Definition einer chemischen Verbindung gegeben.

Die Atomhypothese erwies sich somit in ihrer Herrschaft durch ein volles Jahrhundert hindurch tatsächlich unfähig, einen der allerwichtigsten chemischen Begriffe, den eines chemischen Individuums zu definieren. Deutlich tritt dieser Umstand im historischen Streite zwischen Berthollet und Proust hervor. Die Forderung nach einer scharfen Unterscheidung zwischen Mischung und Verbindung wird in diesem Streite mit aller Macht laut. Proust geht von einer Reihe von Stoffen aus, welche zu seiner Zeit nach dem Gefühl als chemische Verbindungen betrachtet wurden, er bezeichnet sie im Gegensatze zu den „Mischungen" (mélanges) als „composés vrais" oder „combinaisons réelles"; ihr wesentlichstes Attribut sind die ganz bestimmten Proportionen, welche sowohl die in der Natur vorhandenen als auch die im Laboratorium erhaltenen Verbindungen charakteri-

sieren[504], dieses pondus naturae sei ebensowenig von dem Belieben des Chemikers abhängig wie das Verwandtschaftsgesetz, welches alle Verbindungen beherrscht. BERTHOLLET hielt sich seinerseits mit dem gleichen Rechte (im Sinne der WALD'schen Anschauungen) an Metallaschen, Alkalisulfide, Fahlerz und dergleichen Produkte, deren Zusammensetzung variabel ist. Bekanntlich erledigte sich der Streit einerseits durch die Erkenntnis, daß es tatsächlich Stoffe von absolut konstanter Zusammensetzung gibt, und andererseits durch die schärfere Definition chemischer Verbindungen. Es leuchtet ein, daß die WALD'sche Auffassung chemischer Individuen, welche den Phasenbegriff zur Definition heranzieht, in einem wesentlichen Punkte neuerdings die stetige Folge der Ideen herstellt, welche durch nahezu ein Jahrhundert unterbrochen war. Denn BERTHOLLET verfocht mit großem Scharfsinn die Idee, daß die Zusammensetzung aller Produkte chemischer Operationen eine veränderliche sein müsse; er faßte diese Stoffe im wahren Sinne des modernen Wortes als veränderliche Phasen auf, er war im gewissen Sinne der nächste Vorgänger GIBBS'. Allein BERTHOLLET unterlag in seinem Streite mit PROUST, welcher nachwies, daß eine große Zahl an Phasen von völlig konstanter (oder nur unmerklich veränderlicher) Zusammensetzung vorhanden sei. Insofern als zur Zeit jenes Streites die Chemie ihre Aufgabe noch in der Erforschung aller Erscheinungen sah, welche durch Wechselwirkung der verschiedenen Stoffe einzutreten vermögen, kann es BERTHOLLET nur mit großem Unrechte als Fehler angerechnet werden, daß er die Konstanz der Zusammensetzung chemischer Individuen nicht anerkennen wollte. Wenn nun PROUST's glänzende Analysen im Vereine mit den entsprechenden entwicklungsgeschichtlichen Momenten[505] die Ideen BERTHOLLET's niederzuringen vermochten, so war damit ein wichtiges Faktum für die Weiterentwicklung der Chemie gewonnen, denn der Sieg PROUST's bedeutet den Ausgangspunkt für jene enge Auffassung des Forschungsgebietes der Chemie, welche seither in Geltung ist, und die einzig und allein auf die Darstellung chemischer Individuen ausgeht. Gleichzeitig tritt eine möglichst strenge, wenn auch der Natur der Sache nach nicht

[504] Ann. de Chim. XXXII/31. — [505] Vergleiche Seite 199 f.

völlig restlose Unterscheidung zwischen chemischen Verbindungen und unchemischen (wenn gleich auch homogenen) Mischungen auf, und es bricht sich jene entscheidende Richtung Bahn, das Studium der letzteren Stoffe systematisch zu vernachlässigen.

Mit diesen Darlegungen wären die Bestrebungen WALD's skizziert, die Auffassung des wichtigsten, chemischen Grundbegriffes: des chemischen Individuums, jener Modifikation zu unterziehen, welche es uns ermöglichen soll, den Tatsachen besser gerecht zu werden und unseren Gesichtskreis über den engen Rahmen der „reinen“ Chemie zu erweitern. Die vorgeschlagene Wandlung der Auffassung des chemischen Individuums, die gleicherzeit eine rückhaltslose Emanzipation von den bisherigen atomistischen Ansichten bedeutet, regt nun eine Fülle von neuen Fragen an, in Bezug auf deren kritische Zergliederung auf die Originalabhandlung verwiesen sei[506]. Nur an einen Gedanken sei noch in aller Kürze angeknüpft. Indem wir von der Zusammensetzung der Phasen sprechen, bringen wir dadurch unbedenklich den Begriff „Bestandteil“ der Phase zur Anwendung. Jedoch was versteht man unter Bestandteilen, und wie lernen wir sie kennen? Ist es überhaupt notwendig oder auch nur zweckmäßig, in der Chemie von Bestandteilen zu sprechen, und wenn dies der Fall ist, welches sind die Tatsachen, welche man durch diesen Begriff aussprechen will? Ist dieser Begriff überhaupt dazu geeignet, alle chemischen Vorgänge zu beschreiben, oder verzichtet man vielleicht bei der Fassung dieses Begriffes im vorhinein auf die nähere Betrachtung gewisser Vorgänge? Der Chemie wird in erster Reihe die Aufgabe gestellt, die „Bestandteile“ aller Naturstoffe zu bestimmen; doch schon diese Fragestellung an und für sich macht eine weitgehende Abstraktion von dem wirklichen Verlaufe der chemischen Naturerscheinungen nötig, und daher entfernt sich die Erfüllung der Hauptaufgabe der „reinen“ Chemie weit von einer Erfassung des wirklichen Verlaufes chemischer Prozesse. Zunächst wird von der Gegenwart aller Stoffe abgesehen, welche nach dem betreffenden Prozesse in unveränderter Menge abgeschieden werden können; folglich vermag diese Art der Forschung keinen Aufschluß über die Rolle der

[506] Annal. d. Naturphilos. I/182.

verschiedenen Lösungsmittel und Katalysatoren zu geben. Es werden ferner alle Zwischenoperationen übergangen, welche aus den ursprünglichen, veränderlichen Produkten die definitiven Individuen liefern; es wird keinerlei Unterschied gemacht, ob eine einzige Reaktion von den Ausgangsstoffen zu den Endprodukten führt, oder ob hierzu eine ganze Reihe von Reaktionen nötig ist, und so fort. Indem so der Chemiker es zu seiner vermeintlichen Lebensaufgabe macht, bei allen Vorgängen die „Bestandteile" herauszufinden, statt unbefangen die ursprünglich vorliegenden Naturstoffe und ihre Wandlungen zu beobachten, bewegt er sich im Kreise einer weitgehenden Idealisierung der Wirklichkeit. Diese Idealisierung ist historisch begründet und hat ein rasches Erfassen der chemischen Erscheinungen in ihren wichtigsten Zügen wesentlich gefördert, allein es ist bislang der schwerwiegende Umstand übersehen worden, daß es sich eben um eine Idealisierung der Erscheinungen handelt, und daß demnach auf diesem Wege kein Aufschluß über jene Momente erlangt werden kann, welche man absichtlich oder unbewußt keiner Aufmerksamkeit würdigt. So ist man beispielsweise zu der Meinung gelangt, daß je zwei Stoffe von gleicher „Zusammensetzung" eigentlich identisch sind, und sich leicht ineinander umwandeln sollen, und es ist nach diesen schematisierenden Überlegungen unmöglich einzusehen, warum zu solchen Umwandlungen oft erst lange Reihen von Zwischenreaktionen nötig sind. „Um alle diese Schwierigkeiten zu beheben, mußte man sich zur Annahme der Strukturtheorien bequemen, und sieht eben in der Unentbehrlichkeit dieser Lehren für die Chemie eine unerschütterliche Stütze der Atomhypothese; man ahnt gar nicht, daß man sich durch die grundlegende Methode der chemischen Forschung, durch die Bestimmung der Bestandteile unter all den genannten Abstraktionen von der Wirklichkeit um die Möglichkeit gebracht hat, eben diese Welt der Wirklichkeiten genau zu verstehen, und daß man durch die Strukturlehren eben nur instinktiv die Fehler gut zu machen sucht, welche man gemacht hat, bevor man überhaupt zu irgendeiner Meinung über die Zusammensetzung der vorliegenden Naturstoffe gelangen konnte" (Wald).

Die Phasenregel Gibbs' wäre somit berufen, das Instrument

zu sein, mit dessen Hülfe die bisherigen hypothetischen Fundamente der Chemie zu überwinden wären. Vom Geiste der Phasenregel GIBBS' geleitet, hat WALD die erste, exakte Definition des „chemischen Individuums" zu geben vermocht, auf der Basis der Phasenregel GIBBS' ist es ihm geglückt, unter gewissen Prämissen eine Reihe von physikalischen Beziehungen unter den an der Reaktion beteiligten Stoffen abzuleiten, und zwar besonders das Gesetz der rationalen Volumverhältnisse, wie es von GAY-LUSSAC aufgestellt worden ist.[507] Schließlich haben die Bemühungen WALD's die positive Lösung der Frage gezeitigt, ob auch außerhalb der Atomhypothese den stöchiometrischen Gesetzen eine Erklärung zugrunde gelegt werden könne.

Die mehrjährigen Bemühungen WALD's sind auf fruchtbaren Boden gefallen. In der Vorlesung zur Ehrung des Andenkens an FARADAY vom Jahre 1904 hat WILHELM OSTWALD den ersten Versuch unternommen, einen der wichtigsten Fortschritte der Chemie unserer Zeit: die chemische Dynamik, auf das alte, viel diskutierte Problem von der Natur der chemischen Elemente anzuwenden. Nach den Darlegungen OSTWALD's ist es auf Grund der chemischen Dynamik möglich, ohne weitere Voraussetzungen die stöchiometrischen Grundgesetze abzuleiten. Die chemische Dynamik kann somit dasselbe leisten, was bisher nur mit dem Bilde der Atomtheorie zu erreichen war; sie hat in dieser Beziehung die Atomtheorie entbehrlich gemacht. „In den eben dargelegten Betrachtungen"[508], sagt OSTWALD, „verdanke ich WALD zwei wesentliche Gedanken. Einerseits, daß die Definition der Begriffe Stoff und Element eine in gewissem Sinne willkürliche ist; sie hat die Aufgabe, einen kurzen Ausdruck für die Methoden unserer analytischen und synthetischen Tätigkeit zu geben. Während ursprünglich eine jede Lösung dasselbe Recht hat, betrachtet und untersucht zu werden, gelangen wir durch unsere Trennungsmethoden praktisch auf Stoffarten, die wir als Substanzen und Elemente bezeichnen. Der andere Gedanke, durch welchen WALD allen anderen Forschern einen richtigen Weg geöffnet hat, ist der, daß der Begriff der Phase allgemeiner ist als der des chemischen

[507] Zeitschr. f. physik. Chemie 24/315. — [508] Elemente und Verbindungen, S. 29.

Individuums, und daß daher die Ableitung der stöchiometrischen Gesetze ohne weitere Hypothesen mit Hülfe dieses Begriffes ausgeführt werden muß." Der Gedankengang OSTWALD's ist nun, in der möglichsten Einfachheit skizziert, der folgende: Verwandeln wir destilliertes Wasser in Dampf, so bleiben sowohl die Eigenschaften des flüssigen Rückstandes wie jene des entstehenden Dampfes während der ganzen Umwandlung unverändert. Verwandeln wir jedoch beispielsweise Meerwasser bei konstanter Temperatur in Dampf, so ändert sich während dieses Vorganges einerseits die Dichte des flüssigen Rückstandes um so mehr, je mehr Dampf wir entstehen lassen, andererseits ändert sich auch der Dampf, indem sein Druck und seine Dichte immer kleiner wird. Körper der ersten Art nennt OSTWALD hylotrope Körper, die der zweiten Art bezeichnet er als Lösungen. Durch fortgesetzte Scheidung der Lösungen in Rückstand und Destillat werden schließlich Rückstände und Destillate erhalten, deren Flüchtigkeit sich durch Wiederholung der Operation nicht weiter vermindern oder vermehren läßt. Wenn aber die Flüchtigkeit eines Destillates sich durch weiteres Destillieren nicht mehr ändern läßt, so setzt dies voraus, daß die ganze Menge dieses Destillates bei konstanter Temperatur destilliert, das heißt, daß ein hylotroper Körper vorliegt. Das gleiche gilt für den Rückstand. Wir kommen zu dem Ergebnis: Lösungen lassen sich immer in eine endliche Anzahl hylotroper Körper trennen. Unsere weitere Betrachtungen müssen wir auf den Fall beschränken, daß man aus diesen hylotropen Körpern wieder die Lösungen mit ihren ursprünglichen Eigenschaften zusammensetzen kann, obwohl es allerdings noch nicht zweifellos bewiesen ist, daß dies immer möglich sein muß. Alsdann besteht eine eindeutige Beziehung zwischen den Eigenschaften der Lösungen und der Natur und dem Mengenverhältnis der hylotropen Stoffe, in die man sie zerlegen und aus denen man sie zusammensetzen kann, oder jede Lösung von bestimmten Eigenschaften hat auch eine bestimmte Zusammensetzung. Wir können daher die Eigenschaften einer Lösung als eindeutige Funktion ihrer Zusammensetzung darstellen. Beschränken wir uns der Einfachheit wegen auf Lösungen mit zwei Bestandteilen, und tragen wir

Eigenschaften (zum Beispiel die Siedepunkte) aller nach beliebigen Verhältnissen aus diesen Bestandteilen zusammensetzbaren Lösungen als Ordinaten auf, die Zusammensetzung als Abszissen ab, so erhalten wir Kurven, welche erfahrungsmäßig stetig verlaufen, und ein Maximum oder ein Minimum aufweisen können. Zeichnen wir eine Anzahl von Siedepunktskurven, die bei verschiedenen Drucken aufgenommen worden sind, untereinander, so ist der Ort der ausgezeichneten Punkte im allgemeinen wiederum eine Kurve. Als besonderer Fall ist unter den vielen Möglichkeiten der gegeben, daß dieser Ort durch eine vertikale Gerade dargestellt wird. Dann ist die Zusammensetzung vom Drucke unabhängig, und sowie dieser Umstand vorliegt, nennen wir den betreffenden Stoff ein chemisches Individuum. Wir sehen also, daß zwischen einer Lösung und einem chemischen Individuum ein Zusammenhang besteht; letzteres ist ein ausgezeichneter Fall der ersteren. Andererseits gewinnen wir eine vollständige Definition des chemischen Individuums: ein solches liegt vor, wenn ein Körper über ein endliches Gebiet von Temperaturen und Drucken hylotrope Phasen bildet. Nun lassen sich erfahrungsmäßig Körper mit dieser Eigenschaft sehr oft aus anderen derartigen Körpern nach Art der Lösungen zusammensetzen. Wenn dies der Fall ist, so folgt aus der eben gegebenen Definition des chemischen Individuums, daß diese Zusammensetzung nach einem bestimmten konstanten Verhältnis der Bestandteile erfolgen muß, welches innerhalb eines gewissen Umfanges unabhängig vom Drucke und von der Temperatur ist. Hiermit ist das erste stöchiometrische Gesetz, das Gesetz der konstanten Proportionen, aus dem Begriffe des chemischen Individuums abgeleitet. Diese Ableitung ist außerordentlich einfach: die Art, wie man experimentell ein chemisches Individuum herstellt, bringt die Konstanz der Zusammensetzung mit Notwendigkeit mit sich. Überschreitet man das Gebiet, in welchem die Beziehung der Hylotropie gilt, so nimmt der Körper die Eigenschaften einer Lösung an, das heißt, er läßt sich durch die Bildung anderer Phasen in verschiedene Anteile sondern. Wir pflegen dann zu sagen, daß sich die Substanz im Zustande des Zerfalles oder der Dissoziation

befindet. Nun gibt es gewisse Substanzen, bei denen solche Übergänge in ein Gebiet, wo sie sich wie Lösungen verhalten, noch nie beobachtet worden sind. Solche Substanzen nennt man Elemente. Elemente sind mit anderen Worten Substanzen, welche unter allen bekannten Bedingungen nur hylotrope Phasen zu bilden vermögen. Hieraus geht hervor, daß sich alle beliebigen Stoffe schließlich in Elemente zerlegen lassen müssen. Der allgemeinste Fall, der uns gegeben ist, ist der einer Lösung. Alle Lösungen lassen sich in eine unendliche Anzahl von Bestandteilen zerlegen, wobei jede Lösung mindestens zwei solche Bestandteile gibt, die innerhalb eines gewissen Gebietes nur hylotrope Umwandlungen zeigen, also chemische Individuen sind. Diese verwandeln sich wieder bei Überschreitung ihrer Existenzgebiete in Lösungen, und diese lassen sich weiter in Bestandteile auflösen, bis schließlich die letzten Bestandteile ihr Existenzgebiet über den ganzen Umfang der uns experimentell erreichbaren Zustände erstrecken. Die Tatsache, daß die Beziehung zwischen einer Lösung und ihren Bestandteilen eindeutig ist, führt zu dem Grundsatze, daß jede Verbindung nur auf eine Art in Elemente zerlegbar ist, und dies ist, zusammen mit der eben gegebenen Definition der Elemente, die Quelle des Gesetzes von der Erhaltung der Elemente, von der Tatsache, daß nie aus einem Element **A** ein Element **B** erhalten worden ist. In der Tat würde eine derartige Umwandlung der Voraussetzung widersprechen, daß ein Element ein Stoff ist, der nur hylotrope Phasen bilden kann. Von den stöchiometrischen Gesetzen bleiben uns noch zwei abzuleiten, das der multiplen Proportionen und das der Verbindungsgewichte. Jedoch sei in Bezug auf die Ableitung dieser beiden Grundgesetze, da sie vorläufig noch begründeten Einwänden nicht unzugänglich ist, auf das Original verwiesen, um so mehr als Ostwald seine Darlegungen selbst als „erste Skizze“ bezeichnet, die noch der näheren Ausführung unterzogen werden soll. Und auch in Bezug auf die energetischen Anschauungen Ostwald's über die Natur der Elemente, in deren Lichte die so rätselhaft erscheinende Umwandlung des Radiums in Helium verständlich werden kann, möge der bloße Hinweis auf das Original genügen. Der Autor

selbst bezeichnet diese Anschauungen als „noch ganz im embryonalen Zustande befindlich".

Durch ein volles Jahrhundert hat sich die Chemie in jenen Bahnen entwickelt, wie sie von der Atomhypothese Dalton's vorgezeichnet waren. Soll der weitere Entwicklungsgang unserer Wissenschaft dereinst, wenn auch noch in ferner Zukunft, über Dalton's Hypothese hinaus zur Betrachtung der reinen, „nicht idealisierten", chemischen Naturerscheinungen selbst — ohne die Brille einer Hypothese — führen? Soll die Chemie der Zukunft vom Geiste einer rein phänomenologischen Naturanschauung beherrscht sein, das heißt einer Naturanschauung, welche sich in streng exakter Weise auf das Feststellbare beschränkt und alles Hypothetische im Sinne der Worte Newton's[509]: „Hypotheses non fingo", von der Wissenschaft fern zu halten strebt? „Die Hypothesenbildung ist nicht das Ergebnis einer künstlichen wissenschaftlichen Methode, sie geht vielmehr ganz unbewußt schon in der Kindheit der Wissenschaft vor sich. Hypothesen werden auch später erst nachteilig und dem Fortschritte gefährlich, sobald man ihnen mehr traut, als den Tatsachen selbst, und ihren Inhalt für realer hält, als diese, sobald man, dieselben starr festhaltend, die erworbenen Gedanken gegen die noch zu erwerbenden überschätzt."[510] Mit eindringlichem Scharfsinn hat Franz Wald dargelegt, daß eine Entwicklung der Chemie in anderen, ersprießlicheren Bahnen, als es die hypothetischen von heute sind — insoferne diese Entwicklung überhaupt möglich ist —, eine Revision des gesamten Gedankenganges der Chemiker seit Dalton zur Voraussetzung haben muß. Das wesentliche, weil sachlich richtige, muß von jener Form getrennt werden, welche es im Geiste der Atomhypothese angenommen hat. Die elementarsten Erscheinungen müssen neuerdings einer Betrachtung unterzogen werden, so wenig erwünscht dies auch manchem erscheinen mag. Die Bemühungen Wald's, desgleichen jene Ostwald's, gewinnen an vertieftem Interesse und einem Mehr an anregender Bedeutung im Zusammenhange des nunmehr auch in weiteren wissenschaftlichen Kreisen immer stärker hervortretenden Strebens nach er-

[509] Vergleiche Seite 182. — [510] Ernst Mach: Über Umbildung und Anpassung im naturwissenschaftlichen Denken. Popul.-wissensch. Vorles. 3. Aufl. S. 256.

kenntniskritischen Untersuchungen auf dem Felde der Naturwissenschaft, nach dem Erfassen der logischen und psychologischen Entwicklung des Erkennens in den einzelnen naturwissenschaftlichen Zweigen. Durch einen Zeitraum von nunmehr vierzig Jahren hat ERNST MACH der erkenntniskritischen Zergliederung unserer landläufigen, physikalischen Grundbegriffe seine Tätigkeit zugewandt; mit klassischer Feder hat er den Werdeprozeß der Fundamentalbegriffe in der Mechanik[511] und der Wärmelehre[512] geschildert. Wenn einst auch der Werdeprozeß unserer chemischen Fundamentalbegriffe eine ebenso liebevolle und eindringliche Darlegung gefunden haben wird, „dann wird sich wohl auch herausstellen, daß die Schuld an dem wenig befriedigenden Zustande unserer theoretischen Ansichten in der Chemie nicht sowohl diesen Begriffen oder ihrer fehlerhaften Bildung zuzuschreiben ist, sondern vielmehr nur dem Umstande, daß wir eben vergessen haben, wie diese Begriffe geworden sind, und daß wir sie daher oft unrichtig zur Anwendung bringen“.[513]

---

[511] Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch-kritisch dargestellt. — [512] Die Prinzipien der Wärmelehre, historisch-kritisch dargestellt. — [513] WALD, Zeitschrift für physikalische Chemie 23 83. Es mag schließlich nicht unterlassen werden, auf JAUMANN's „Versuch einer chemischen Theorie auf vergleichend-physikalischer Grundlage“ hinzuweisen, welche von keiner bestimmten Vorstellung über die Konstitution des Stoffes ausgeht. (Bericht der k. Akademie der Wissenschaften in Wien, mathem.-naturw. Klasse, Band CI, S. 487, Monatshefte für Chemie 13 523.) Der Angelpunkt der ebenso interessanten als in die landläufigen chemischen Vorstellungen tief einschneidenden Überlegungen JAUMANN's ist die Voraussetzung, daß alle Stoffe ganz gleichartig sind und sich in chemischer Beziehung nur durch den numerischen Wert einer Eigenschaft, welche alle chemischen Eigenschaften bestimmt und welche der chemische Zustand oder das Chemial genannt werden soll, unterscheiden: demnach analog wie sich die Stoffe in physikalischer Beziehung durch ihre Temperaturen oder Geschwindigkeiten unterscheiden. Somit muß es unendlich viele verschiedene elementare Stoffe geben, welche sich aber nach dem Wert ihres Chemials in eine einzige Reihe ordnen lassen. Die chemischen Vorgänge zwischen zwei Stoffen werden durch die Chemialdifferenz völlig bestimmt. In Bezug auf die näheren Merkmale des Chemials, sowie auf dessen Verwertung zur Vereinfachung des gesamten stöchiometrischen Systems möge der Hinweis auf das Original genügen.



Zusammenfassung und Schluß.

Die erkenntnisgeschichtlichen Hauptmomente im Entwicklungsgange der chemischen Atomistik.[514]

Ein gewichtiger Teil jener Bemühungen, welche der menschliche Geist seit der Frühzeit seiner Entwicklung an die Lösung der Frage nach dem Wesen der Stoffwelt, an die Lösung des Problems von der Materie setzte, ist in der geschichtlichen Folge zur Pflanzstätte jener Hypothese geworden, wie sie JOHN DALTON's schöpferisches Genie der Chemie des 19. Jahrhunderts zum Fundamente schuf. Die erkenntnisgeschichtlichen Hauptmomente im Entwicklungsgange der chemischen Atomistik im Rahmen einer kurzen, abschließenden Zusammenfassung Revue passieren zu lassen, heißt nun, diesen Teil in knappen, doch scharfen Umrissen umfassen, heißt den Pfad ausfindig machen, welcher vom Geisteswerke des Philosophenpaares LEUKIPP-DEMOKRIT zur Tat JOHN DALTON's mitten durch die blühenden Gefilde chemischer Empirie hinführt.

Von den ersten Anfängen realer Naturerfahrung beflügelt, hatte sich das griechische Genie von dem Boden der alten, von den jonischen Physiologen gepflegten Stofflehre, zur Höhe der LEUKIPP-DEMOKRIT'schen Atomistik emporgeschwungen. ANAXAGORAS weist auf den Widerstand hin, welchen Luft, in aufgeblähten Schläuchen verschlossen, jedwedem Kompressionsbemühen entgegensetzt, und EMPEDOKLES zieht in Betracht, daß ein Gefäß, dessen Öffnung mit dem Daumen verschlossen in Wasser getaucht wird, auch nach dem Lüften der Öffnung nicht mit Wasser

[514] In gedrängter Fassung in der Abteilung für Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften der 77. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Meran zum Vortrage gebracht.

sich fülle, während das letztere unbehindert eintrete, wenn das Gefäß offen eingetaucht wird. Es ist ihm klar, daß im ersten Falle die im Gefäße enthaltene Luft, als undurchdringlicher Stoff, dem Wasser den Eintritt verwehre. In ANAXAGORAS, wie in EMPEDOKLES erblicken wir die ersten Vorläufer der eigentlichen Atomistiker, eines LEUKIPP und eines DEMOKRIT. Denn nach der Lehre des ANAXAGORAS sind es die unendlich verschiedenen Ursamen der Dinge, durch deren Verbindung und Trennung die unerschöpfliche Vielheit der Dinge entsteht; der Lagenveränderung, der Bewegung wird somit der Stempel der Urveränderung aufgedrückt, die allem Naturgeschehen zugrunde liegt. Desgleichen ist die Elementenlehre des EMPEDOKLES ein kühner Versuch zur Deutung des Naturgeschehens im rein mechanistischen Sinne. In der Vereinigung des die Sinne im hervorragenden Maße fesselnden Phänomens, des Feuers, mit den plumpen, grob-stofflichen Symbolen für die drei Aggregatzustände: der Erde, des Wassers und der Luft, sind die Faktoren geschaffen, auf deren Mischung und Entmischung aller Wechsel im Naturall, alles Entstehen und Vergehen beruht. Die Ortsveränderung der vier Elemente ist das Urgeschehen in der Natur. Neben der Idee von den unsichtbar kleinen Teilen, welche sich von den Körpern loslösen und in die Poren anderer Körper eindringen, erscheint uns der Ausspruch des EMPEDOKLES, „daß die Elemente in ihren Verbindungen durcheinanderlaufend ein anderes Antlitz zeigen", wie die Brücke zur LEUKIPP-DEMOKRIT'schen Atomistik, denn ahnungsvoll mag dieser Ausspruch den Gedanken umfassen, daß die Eigenschaften eines Zusammengesetzten von seiner Struktur, von den Lagerungs- und Bewegungsverhältnissen seiner Teile bedingt sind.

Die Art und Weise, in welcher sich das Stoffproblem von THALES VON MILET bis auf EMPEDOKLES entwickelt, bezeichnet gleichsam den Weg, welcher von den ersten naiven Anfängen, die unendliche Fülle des Weltalls von einem einzigen Prinzipe aus, dem Dasein von Urstoffen, zu umfassen, dem Gipfelpunkt der hellenischen Stofflehre: dem Weltbilde des abderitischen Geistespaares LEUKIPP-DEMOKRIT, mit seinem starr mechanistischen Gepräge, zustrebt. Zu der Unzerstörbarkeit und der

Unwandelbarkeit des Stoffes, tritt im Laufe der Zeit die Erkenntnis von der Undurchdringlichkeit des Stoffes, deren naturerklärender Wert in den vorhin genannten Erfahrungen des Anaxagoras und des Empedokles bereits deutlich zur Geltung gelangt. Zur Annahme der völligen Undurchdringlichkeit des Stoffes tritt die Idee von dem leeren Raume ergänzend hinzu, nach welcher die Stoffwelt kein zusammenhängendes Ganze bildet, sondern aus einzelnen, völlig undurchdringlichen Kernen besteht, welche durch leere, völlig durchdringliche Zwischenräume voneinander getrennt sind. Nach zweierlei Richtungen hin erstreckt sich die tiefe Bedeutung dieser Idee als Faktor der Naturerklärung: fürs erste läßt sie die Möglichkeit der Bewegung innerhalb eines „undurchdringlichen" Stoffes, wie Luft oder Wasser, zu, fürs zweite erklärt sie die erheblichen Verschiedenheiten des Widerstandes, welchen etwa Luft oder das Felsgestein dem andringenden Pfeile entgegensetzen. Denn ein Undurchdringliches vermag dem zweiten auszuweichen und zwar leichter, schwerer und schließlich überhaupt nicht, je nach der Beschaffenheit und den Abständen dieser Kerne. Die Unzerstörbarkeit, Unwandelbarkeit und Undurchdringlichkeit des Stoffes, diese drei Stoffpostulate, welche der stetigen Entwicklung der Stofflehre von Thales von Milet ab entspringen, waren somit in die Kerne verlegt, die ob ihrer Kleinheit sich der sinnenfälligen Wahrnehmung entziehen. Diese Kerne sind ausgedehnt, unveränderlich und unteilbar: es sind die Atome. So lehrt uns die nähere Betrachtung die Leukipp-Demokrit'sche Atomistik als Endglied einer organischen Entwicklung hellenischen Naturdenkens erkennen, das in der altjonischen Naturphilosophie die ersten Keime zu einer umfassenden Stofflehre legt; so erscheint uns das Weltbild des abderitischen Philosophenpaares als bodenständiges Produkt hellenischer Denkarbeit, womit jeder Gedanke, daß die Atomenlehre von einem phönizischen Weisen, namens Mochus, ersonnen worden wäre, und Demokrit auf seinen weiten Reisen davon Kenntnis erlangt hätte, in das Gebiet der Fabel zu verweisen ist. (Nebenher sei auch der unvollkommenen Versuche des Inders Kanada gedacht, die Atome seinen kosmogonischen Spekulationen dienstbar zu machen.)

Mit der Leukipp-Demokrit'schen Atomistik ist nun die Quelle jenes gewaltigen Geistesstromes erschlossen, der bis zur Stunde auf das Feld der Naturforschung befruchtend wirkt. In den ersten Stadien seines Verlaufes wirft sich diesem Geistesstrome die aristotelische Naturlehre als geistige Riesenmacht entgegen. Mit ihrem teleologischen Charakter verankert sie sich fest in dem Bewußtsein des späteren christlichen Theismus, welches von dem Glauben an das Walten eines persönlichen, göttlichen Regimentes durch das gesamte Naturall erfüllt ist. So vermag die Naturlehre des Stagiriten der Flut von Jahrhunderten zu trotzen; doch bevor noch diese Lehre ihre schwarzen, gigantischen Schatten auf das Denken der kommenden Zeiten vorauswirft, vermochte sich die Atomistik Leukipp-Demokrit's des liebevollen Studiums im Garten Epikur's zu erfreuen, wo sie in der nacharistotelischen Spätzeit antiken Denkens zu neuem Glanze erstehen sollte.

Bis auf Epikur scheinen dem griechischen Genie immer neue Lösungen des Stoffproblems zu entquellen. Selbst Plato, dieser „eingefleischte Dialektiker" und „große Sophist" (Lewes), dessen Denkrichtung ihrem inneren Wesen nach so grundverschieden von jeder ersprießlichen Art der Naturbetrachtung und -erforschung abweichen mußte, gibt in seinem „Timäos" eine fast vollständige Anleitung zur Aufstellung einer Korpuskulartheorie, wenn auch nur, nach eigenem Geständnis, zum „harmlosen Ergötzen" nach der Anstrengung des Sinnens über das ewig Seiende, die Ideen, die über dem schwankenden Nebel des Naturseins erhaben sind. Auf zweierlei Wegen dringt Plato zur Ableitung der vier Elemente, des Feuers und der Erde, des Wassers und der Luft, vor, denen bestimmte Grundformen zuerteilt werden. Der erstere Weg verläuft in rein teleologischer Richtung; die Zuversicht, daß die Natur dem ästhetisch Geordneten, dem Schöneren und Besseren zustrebe, ist in diesem Falle das Leitmotiv platonischen Denkens. Der zweite Weg ist physikalischer Natur und nimmt von der Lehre des Philolaus, die im Gegensatze zur Leukipp-Demokrit'schen Atomistik die Bedeutung einer quasi pythagoreischen Atomistik gewinnt, seinen Ausgang. Jedoch mit Epikur nun, senkt der Genius hellenischen

Naturdenkens bereits ermattet seine Schwingen, denn nur unwesentliche Züge sind es, welche EPIKUR im Weltbilde LEUKIPP-DEMOKRIT's ändert. Überdies wird der Naturlehre das bestimmte ethische Ziel gewiesen, Ruhe der Betrachtung zu verleihen, als Vorstufe zu jener einzig und allein erstrebenswerten Glückseligkeit, die sich als dauernder Zustand über das ganze Leben hin erstreckt. So sticht die welthistorische Bedeutung der jedweder Originalität baren Naturphilosophie EPIKUR's gewaltig von deren innerem Werte ab, denn EPIKUR's Natursystem wird bekanntlich zum Werkzeuge, mit welchem im 17. Jahrhundert das neu aufblühende europäische Denken, das köstlichste Erbe antiker Geistesarbeit: die LEUKIPP-DEMOKRIT'sche Atomistik, aus dem durch die Scholastik verschütteten Schachte verflossener Jahrhunderte wieder ans Tageslicht hebt.

Das Interesse, mit welchem die antike Naturbetrachtung der Frage nach dem Wesen der Stoffwelt, der Konstitution der Körper sich zuwendet, ist rein philosophischen Charakters, das heißt, dieses Interesse wurzelt ausschließlich in dem Streben nach einer umfassenden Weltanschauung. Demgemäß findet jede Stofflehre nur im Rahmen eines großzügigen Weltbildes ihren organischen Platz. Das rein naturwissenschaftliche, das physikalische Interesse tritt erst in spätantiker Zeit auf, genährt und getrieben durch das praktische Bedürfnis nach technischer Bewältigung der Körperwelt, sowie nach der Heilung der physischen Leiden der Menschheit. So finden sich korpuskulare Vorstellungen bei HERON VON ALEXANDRIEN und bei VITRUV einerseits, während andererseits HERAKLIDES PONTICUS, sowie ASKLEPIADES VON BITHYNIEN ihre Lehren von dem Aufbau des menschlichen Körpers auf korpuskularer Grundlage basieren. Die Lehre des ASKLEPIADES findet durch das berühmte medizinische Lehrbuch des CAELIUS AURELIANUS weite Verbreitung unter den Mönchen des Mittelalters, so daß durch den sterilen Boden der Scholastik, wenn auch im dünnen, kaum sichtbaren Bette, die Tradition atomistischer Lehren aus der Antike, den kommenden Zeiten der Wiedererweckung atomistischer Naturauffassung entgegen, hindurchzusickern vermag.[515]

---

[515] Eine eigenartige atomistische Tradition liegt in der Lehre der arabischen

Mit dem Untergange der Antike tritt zuerst innerhalb des griechisch-alexandrinischen Kulturkreises ein neuer, ausschlaggebender Faktor für die Entwicklung spezifisch chemischer Stofflehren auf den Plan: die *Alchemie*. Unvermittelt taucht sie in dem genannten Kulturkreise auf; ihre Wurzeln weisen auf babylonische, chaldäische, jüdische und ägyptische Einflüsse zurück. Sie umfaßt die Fortbildung jener empirisch-technischen Kenntnisse chemischen Inhaltes, deren Ursprung die Nacht der Zeiten deckt, sowie eine theoretisierende Vertiefung dieser Kenntnisse, die vom Lichte der Denkbarkeit PLATO's, ARISTOTELES', der *Stoa* sowie der *Gnosis* und des *Neuplatonismus* oft in mystischer, oft in bizarr-phantastischer Weise erleuchtet erscheint. Speziell bewegen sich die Spekulationen der griechisch-alexandrinischen Alchemisten, eines AENEAS VON GAZA, eines ZOSIMOS und SYNESIOS, eines PELAGIUS und STEPHANUS nicht nur dem Geiste, sondern auch der Ausdrucksweise nach im Bannkreise der Ideen des „Timäos". Vornehmlich knüpfen sich die geistigen Fäden, welche diese Spekulationen mit der Naturlehre PLATO's verbinden, an jene Stellen des „Timäos", welche scheinbar dem Gedanken Spielraum gewähren, als ob PLATO ein stoffliches Ursubstrat zur Schöpfung der unendlichen Fülle von Stoffgestaltungen vorausgesetzt hätte. Und mag auch die berühmte platonische Materie nur den allgegenwärtigen, allumfassenden Raum bedeuten, in welchem die Vielzahl der Dinge enthalten ist, das naive Denken der griechisch-alexandrinischen Alchemisten gießt die dialektisch tief durchdachten Ideen PLATO's in besondere Formen um, und so wird der „Timäos", respektive die Physik PLATO's zur Eingangspforte, durch welchen *die Idee von der Urmaterie* ihren Einzug in die Chemie hält, wo sie bis zur Stunde ihre Lebenskraft bewahrt hat. Alle Körper der Natur gehen aus einer Urmaterie, dem *Merkur der Philosophen* hervor, so lautet das fundamentale Dogma jener Frühepoche der Alchemie. Der Merkur, das Quecksilber, das zur Zeit des peloponnesischen Krieges aufgetaucht

Sekte der *Mutakallimun* vor, die dem Weltgetriebe *Atome* zu Grunde legt, auf welche die Kraft des Schöpfers unausgesetzt einwirkt, um sie zu gruppieren. Alle Veränderungen beruhen auf der Vereinigung, Trennung, Bewegung und Ruhe der Atome.

war, fesselt durch die Verbindung von Metallischem mit Flüssigem und Flüchtigem in seinem Habitus und seinem physikalisch-chemischen Charakter lebhaft die orientalische Phantasie, wozu noch der tiefgehende Einfluß des Quecksilbers auf andere Metalle, namentlich das Gold, hinzutritt. So gewinnt der Merkur jene Rolle der Urmaterie, die nach uralt-ägyptischer Überlieferung dereinst das Blei und seine Verbindungen und Legierungen, von der primitiven Empirie unter dem Sammelnamen Osiris als eines zusammengefaßt, inne hatte. In deutlicher Anlehnung an die stoische Lehre von dem „Pneuma", dem dunstartigen Feuerstoffe, welcher die Dinge durchdringt, ist auch der Merkur die universelle Materie, die als feuriger Hauch die Naturkörper erfüllt. In innigster Beziehung steht dieser universelle Merkur zu dem klassischen Urideal der Alchemie, der Verwandlung von Unedlem in Edles; denn es galt nur durch einen geschickten Kunstgriff den merkwürdigen Stoff seiner Flüssigkeit und seiner Flüchtigkeit zu berauben, um sodann dem „fixierten", das heißt fest und beständig gewordenen Stoffe, ein gelbfärbendes Prinzip, den „Sulfur", einzuverleiben, etwa in Form des Schwefels oder des Auripigmentes. Überdies findet die Idee von der Verwandlungsmöglichkeit der Metalle ihren theoretischen Rückhalt an der Elementenlehre des Stagiriten, mit ihrem Wechsel der Qualitäten. Schließlich muß auch der Lehre von der Beseelung der Stoffe gedacht werden, die in den handschriftlichen Zeugen jener Epoche zum deutlichen Ausdrucke gelangt und als plumpes Abbild jener Lehre von der Weltseele aufzufassen ist, welche namentlich in dem großangelegten System Plotin's ihre Entwicklung findet. Die Seele der Metalle wird zu einer gemeinsamen, stofflichen, doch äußerst sublimen Quintessenz der Metalle, die gewisser Eigenschaften beraubt und mit neuen, „edleren", versehen werden kann. (Die Idee von der Beseelung des Stoffes in ihrer naiv-anthropomorphistischen Gestaltung pulsiert lebhaft auch in den Schriften der folgenden, der arabischen Epoche der Alchemie, um in der christlichen Alchemie, so in den Paracelsus-Schriften, ihren primitiv-barbarischen Animismus mehr oder minder abzustreifen, bis schließlich die Stoffseele zur Naturkraft, das heißt, zum Prinzip rationalistischer Naturerklärung wird.

Die Effluvien BOYLE's, dieses letzte direkte Abbild der merkurialischen Weltseele, wird bei NEWTON von den fernewirkenden Kräften, respektive dem Lichtäther abgelöst, der im Sinne der jüngsten elektrischen oder elektronischen Auffassung des Stoffes zum Prinzip wird, das in ungeahnter Einheit den Aufbau der Stoffwelt, wie Veränderungen in der Stoffwelt, erklärlich macht. So vermögen unsere Blicke rückschauend den Pfad zu durchmessen, welcher die heutige Idee des Äthers mit der merkurialischen Weltseele der Alexandriner und von dort mit der stoischen Lehre von dem „Pneuma" verbindet, das seinerseits vom Urfeuer des HERAKLIT abstammt.)

Während nun die griechisch-alexandrinische Alchemie der theoretisierenden Seite nach, ihre Lebenssäfte hauptsächlich aus der griechischen Philosophie und deren nachantikem Ausklang: dem Neuplatonismus, zieht, ist merkwürdigerweise die Naturlehre EPIKUR's den alexandrinischen Kreisen völlig fremd. Während das System EPIKUR's im Geistesleben Roms eine hervorragende Rolle spielte, wo es in dem berühmten Lehrgedichte des TITUS LUCRETIUS CARUS seine feinsinnig-poetische Verewigung empfing, ist in den Handschriften aus der alexandrinischen Alchemie das Wort „Atom" fast vergebens zu erspähen. Und die Araber, denen, dank dem Fleiße syrischer Gelehrter, in der geschichtlichen Folge die dreifache Rolle der Erben, der Fortbildner und der Übermittler des griechisch-alexandrinischen Schatzes an das christliche Abendland zuteil wird, geraten alsbald in den ehernen Bann der Autorität des Stagiriten, der ja die Atomistik LEUKIPP-DEMOKRIT's auf das entschiedenste befehdet hatte. Innerhalb der arabischen Epoche der Alchemie wird nun neben dem Merkur das tinktoriale Prinzip der Alexandriner, der „Sulfur", zum zweiten Grundstoffe. Der Merkur ist der Träger des metallischen Charakters und der Flüchtigkeit, der Sulfur schließt das Prinzip der Brennbarkeit in sich, bis schließlich innerhalb der christlichen Alchemie diesen beiden Grundprinzipien, das „Sal" (Salz), als drittes sich hinzugesellt.

Das „Sal" dominiert bereits in den Schriften des PARACELSUS sowie in den BASILIUS-Schriften, während die alchemistischen Autoren des 13. Jahrhunderts: ROGER BACON, ALBERTUS MAGNUS,

Arnaldus Villanovanus, Raymundus Lullus, Vincenz von Beauvais und schließlich Pseudo-Geber im 14. Jahrhundert noch vollständig im Bannkreise arabisch-aristotelischer Autorität sich bewegen. Doch die Nennung der Paracelsus- wie der Basilius-Schriften rückt nun auch die Notwendigkeit in die Nähe, einige flüchtige Streiflichter auf jene gewaltige Umwälzung welthistorischen Charakters zu werfen, welche vom 13. Jahrhundert ab durch das gesamte Geistesleben des Abendlandes hin, sich vollzieht. Der Reflex dieser Streiflichter mag die Phasen in der Neuausbildung korpuskular-mechanischer Naturauffassung erhellen. Schon im 13. Jahrhundert war der erste Vorbote einer neuen Zeit aufgetaucht, die durch rationelles Forschen, frei von allen Fesseln aristotelischer Autoritätsherrschaft, die Natur in all ihrer Herrlichkeit und Lebensfülle zu neuen Ehren bringen sollte. Roger Bacon ist es, der tollkühn der Herrschaft unbegründeter Autoritäten die Spitze zu bieten wagt und das Wissen auf Grund eigenen experimentellen Forschens preist. Gleich ihm, eilen andere kühne Geister ihrer Zeit weit voraus, sie sind nach einem schönen Vergleiche Windelband's wie schwache Funken in der Nacht der Scholastik, die immer wieder verlöscht werden und immer wieder von neuem erscheinen und schließlich genügen, um das Gebäude der alten Wissenschaft in Brand zu setzen. Harte Verfolgung und Widerruf waren das Los der kühnen Geister gewesen: doch schon war der Scholastik mit ihrem toten Wissen im eigenen Schoße in Form des „Nominalismus" der Zersetzungskeim erwachsen. Im Jahre 1348 wurde Nicolaus de Autricuria in Paris zum Widerruf von Lehrsätzen gezwungen, die neben der Verwerfung aristotelischer Autorität die Behauptung wagten, daß es in den Naturvorgängen nichts anderes gebe als die Verbindung und Trennung von Atomen. Ein Vorläufer der Atomistik des 17. und der kommenden Jahrhunderte mitten in der Nacht der Scholastik! Und schließlich seien noch die Namen Nicolaus Cusanus und Ludwig Vives genannt, von denen der letztere der Meinung Ausdruck gibt, daß die echten Schüler des Aristoteles über ihn hinausgingen und die Natur selbst befragten. Der wilde Haß gegen die Autorität des Stagiriten lodert bereits hell in den Schriften des Paracelsus auf,

dem ARISTOTELES am Baume der Philosophie das ist, was die todbringenden Drüsen am Leibe. Die BASILIUS-Schriften dagegen zehren noch bewußt an der traditionellen scholastischen Bildung: die drei Prinzipien Mercurius, Sulfur und Sal werden grundsätzlich in die vier Elemente des ARISTOTELES aufgelöst. Doch auch PARACELSUS bringt an einigen Stellen seiner Schriften in schwankender Weise die drei alchemistischen Grundprinzipien mit den vier Elementen des ARISTOTELES in genetischen Zusammenhang, was späterhin HELMONT die Veranlassung bietet, die volle Schale seines Spottes über die „Unbeständigkeit" des PARACELSUS auszugießen.

Nur im schweren Kampfe gegen die herrschenden Gewalten vermögen schließlich, nach der völligen Auflösung der Scholastik, die Trümmer autoritativ-aristotelischer Naturauffassung von dem Boden hinweggefegt zu werden, in welchen das Fundament der modernen Naturwissenschaft versenkt werden soll: die korpuskular-mechanische Auffassung des Naturgeschehens. Noch im Jahre 1624 verbietet ein Beschluß des französischen Parlamentes bei Todesstrafe die öffentliche Darlegung korpuskularphilosophischer Grundsätze — eine Folge der von DE CLAVES versuchten öffentlichen Disputation atomistischer Thesen. Die Vielzahl jener Motive, welche sich in diesem Kampfe gegen das eherne Joch aristotelisch-scholastischer Zwingherrschaft kreuzen, gehört der allgemeinen Kulturbewegung der Renaissance an und kann an dieser Stelle nicht ihre Erledigung finden. Und nur ein fundamentales Motiv sei berührt: das Wesen der aristotelischen Elementenlehre, der qualitativen Elementenlehre, und ihre Überwindung durch die quantitative Elementenlehre. Der tiefere Sinn der aristotelischen Naturlehre lag in der Erklärung des unendlich gestalteten Naturalls durch den variierenden Zusammentritt der Grundqualitäten: warm und kalt, trocken und feucht. Während nach den Grundgesetzen unseres heutigen Denkens diese Qualitäten bloß als subjektive Empfindungsqualitäten in Betracht kommen, da sie ja erst durch die Beziehung des Objektes zu einem oder mehreren Sinnesorganen des erkennenden Subjektes entstehen, sind sie im Ideenkreise der aristotelischen Naturlehre die primär gegebenen Qualitäten.

die unabhängig vom erkennenden Subjekt am einzelnen Dinge existieren. Das Naturerkennen im aristotelischen Geiste haftet somit am Einzeldinge als einem Komplex von wechselnden Qualitäten, während sich das Naturbetrachten der neueren Zeit allmählich den objektiven Beziehungen zwischen den Dingen der Außenwelt zuwendet, wodurch an die Stelle des rein qualitativen Seins der Dinge und dessen Wechsels ein neuer Naturbegriff umwälzenden Charakters tritt: der Begriff der mechanischen Kausalität. Die qualitative Seite der Naturdinge tritt in den Hintergrund gegenüber den Formen und Bewegungen der Körper, somit gegenüber Grundeigenschaften, welche einer objektiven Messung zugänglich sind. Die qualitative Elementenlehre weicht der quantitativen Elementenlehre, und der Naturwissenschaft fällt nun in der Folge von selbst die Aufgabe zu, die Naturerscheinungen aus quantitativen Beziehungen von Substanzelementen abzuleiten, die ihrer eigenen Qualität nach unbekannt sind: Bewegte Atome werden die Urelemente aller Naturerscheinungen, wobei die subjektiven Gefühlsmomente, welche unstreitig der Ausbildung naturwissenschaftlicher Grundanschauungen ihr Gepräge aufdrücken, vornehmlich von dem Stoß der Körper gefesselt sind, welche Erscheinung ein einfaches und anschauliches Bild unmittelbarer kausaler Beziehung in Form der Übertragung von Bewegung darstellt.

Vom Hintergrunde dieser flüchtigen Skizze sind es nun die kühne Wiedererweckung der antiken Atomistik durch GASSENDI, sowie das großzügige Bild einer Welt bewegter Teilchen, wie es DESCARTES entwirft, welche sich als organische Glieder kontinuierlicher Emporentwicklung des Naturdenkens abheben. GASSENDI erweckt die Naturlehre EPIKUR's zu neuem Leben. Unerzeugbar, unzerstörbar und unveränderlich existiert von allem Anfang an eine erste Materie atomistischen Gefüges; sie läßt sich in nichts weiteres auflösen, so daß die Atome die Grenzsteine aller Zerlegung bilden. Und im Sinne DESCARTES' differenziert sich einzig durch die Bewegung eine gleichförmige, teilbare und in ihren Teilen bewegliche Urmaterie zu den einzelnen sinnenfälligen Körpern. Ist Bewegung das Mittel zur Differenzierung des Stoffes, dann ist auch die Schwierigkeit der Vorstellung be-

hoben, daß eine korpuskular abgeteilte Materie den Raum stetig erfüllen könne, denn sind die Teilchen in Ruhe, dann können sie folgerichtig nur solche Gestalt besitzen, daß ihre Figuren den Raum völlig erfüllen. Indem nun den Korpuskeln eine Wirbelbewegung erteilt wird, entstehen dreierlei Arten von Materie, das Feuer-, das Luft- und das Erdelement, deren Teilchen in ihrer unerschöpflichen Fülle an verschiedener Größe, Gestalt und Bewegungsart, mit ihren Riefen und Rillen, ihren Verzweigungen und Verästelungen, geschmeidige Hülfsmittel atomistischer Welterklärung abgeben.

Die Gestalten eines GASSENDI und eines DESCARTES kreuzen nun jenen Weg, welcher das Genie eines ROBERT BOYLE zur Höhe seiner korpuskular-mechanischen Auffassung chemischen Geschehens hinanführt. Aus einer einzigen, universellen Materie baut sich nach der Lehre BOYLE's das Weltall auf. Eine „universelle und katholische Materie" nennt sie BOYLE, da sein tief melancholisches Gemüt, durch das Studium der zeitgenössischen Korpuskularphilosophie des Festlandes von Zweifeln an dem geoffenbarten Glauben gequält, nach einer Versöhnung der mechanistisch-materialistischen Weltauffassung mit dem religiösen Bewußtsein sucht, auf dessen Untergrunde der Glaube an ein weises, göttliches Regiment fest verankert ruht. Eine ursprüngliche, in unzähligen Variationen verlaufende Bewegung teilt diese Urmaterie in Partikeln verschiedenster Gestalt und Größe, durch deren Zusammenlagerung die „primären Konkretionen", die „unmittelbaren Ursprünge" der Dinge, die Vorläufer des heutigen Moleküls entstehen, dessen Begriff sich übrigens schon bei GASSENDI vorfindet. Neben den unendlich gestalteten Korpuskeln, sind die Effluvien, feine Ausströmungen, Ausdünstungen der Körper (in Umrissen schon bei EMPEDOKLES vorgezeichnet), wirksame Hülfsmittel mechanistisch-atomistischer Naturerklärung. Hierbei schwebt BOYLE das Ideal vor, seine Korpuskulartheorie auf einem breiten Fundamente experimenteller Erfahrung aufzubauen. Die Chemie, welche nun endgültig von den alchemistischen Frohndiensten im Joche des fluchwürdigen Hungers nach Gold erlöst ist, BOYLE löst sie auch von der Heilkunde los und weist ihr um ihrer selbst willen das Ziel, das Wissen der Menschheit von den Werken

der Natur zu bereichern. Indem BOYLE der chemischen Forschung die bestimmte Aufgabe hinstellt: die Elementar-, das heißt, die nicht weiter zerlegbaren Bestandteile der Körper zu ermitteln, wird er zum eigentlichen Schöpfer der analytischen Chemie, als einer exakten Wissenschaft.

Während es so BOYLE beschieden ist, seine chemische Korpuskulartheorie als reife Frucht am Baume der mechanischen Naturphilosophie des Festlandes einzuheimsen, gibt sich in den Gedankenpfaden seines großen Zeitgenossen HELMONT vielfach noch das Ringen nach klaren Begriffen kund. Für die Ausbildung korpuskularer Ideen innerhalb der Naturwissenschaften kommt vorzüglich die berühmte Auslegung HELMONT's von dem Übergange des Wassers in „Dampf“ und „Gas“ in Betracht, mit ihrem deutlichen Anklange an korpuskulare und namentlich raumchemische Vorstellungen. Indem HELMONT nach Art einer naturwissenschaftlichen Hypothese die Existenz des Merkurs, des Schwefels und des Salzes an dem Wasser voraussetzt, unterscheiden sich „Dampf“ und „Gas“ durch verschiedene Anordnung der Grundsubstanzen in ihren kleinsten Teilen, denn der Übergang von „Dampf“ in „Gas“ ist von einem Nachaußenkehren des Schwefels, wie auch von einer Teilung und Ausdehnung des Schwefels im Vereine mit den beiden anderen Grundsubstanzen begleitet. HELMONT gebraucht zwar des öfteren den Ausdruck „Atom“, worunter jedoch nur sehr kleine Partikeln zu verstehen sind. Des weiteren sei neben der bloßen Nennung der Namen JUNGIUS, wie auch COMENIUS, namentlich das Verdienst SENNERT's hervorgehoben, der in seinem eklektischen Systeme durch Schaffung der Feuer-, der Luft-, der Wasser- und der Erdatome die neue Korpuskularlehre mit der aristotelischen Tradition zu verbinden weiß. Und auch die „Form“ (im aristotelischen Sinne) läßt SENNERT an den Atomen unverändert fortexistieren; so behalten in einer Gold-Silberlegierung beiderlei Atome ihre „Form“, sie bleiben auch innerhalb der Legierung Gold und Silber, wie dies die Auflösung in Salpetersäure beweise, in deren Verlaufe das Gold in Pulverform wieder erscheine, während das Silber seiner Natur gemäß in Lösung gehe. Das System SENNERT's erwarb sich namentlich die Zustimmung der konservativen akademischen Kreise Deutschlands.

Mit festgefügtem wissenschaftlichen Radikalismus hatte BOYLE die „tria prima" der Alchemisten verworfen und jenen Begriff des chemischen Elementes geprägt, welcher bis zur Stunde dem Rüstzeuge der Chemie einverleibt geblieben ist. Von tiefer Bedeutung ist dieser Begriff für die spätere Ausbildung des DALTON'schen Atombegriffes. Zu dem Fundamentalbegriff des chemischen Elementes tritt mit dem Fortschritte der chemischen Empirie der Satz von der Erhaltung des Stoffes hinzu, welcher, ursprünglich ein Abkömmling des philosophischen Substanzbegriffes, sich nunmehr als ein mit aller Erfahrung in Übereinstimmung stehendes Prinzip erweist. Das Wesen der chemischen Verbindungserscheinungen muß nun auf die Gruppierung von an sich unveränderlichen Substanzelementen zurückgeführt werden: der Korpuskeln, und der Chemie fällt in der Folge von selbst die Aufgabe zu, die Naturkörper in ihre Elemente zu zerlegen und sie aus diesen wieder aufzubauen, eine Aufgabe, über deren Berechtigung und deren Nutzen für den weiteren Fortschritt der Chemie FRANZ WALD in unseren Tagen mit kritischem Scharfsinne zu Gerichte gesessen ist. (Eine Modifikation des wichtigsten chemischen Grundbegriffes: des chemischen Individuums, soll es einerseits ermöglichen, den Tatsachen besser gerecht zu werden, andererseits soll sie unseren Gesichtskreis über den engen Rahmen der „reinen" Chemie hinaus erweitern; dabei bedeutet die von WALD vorgeschlagene Wandlung in der Auffassung des chemischen Individuums eine rückhaltslose Emanzipation von den bisherigen atomistischen Ansichten.) Aus dem chemischen Elementbegriff geht DALTON's Atombegriff hervor, daher müssen ebenso viele qualitativ verschiedene Atome existieren, als Elemente, und so erscheint uns DALTON's Atomistik gleich wie das Bindeglied zwischen der verschollenen qualitativen Elementenlehre des ARISTOTELES und der von aller Qualitätsverschiedenheit der letzten Substanzelemente abstrahierenden, quantitativen Elementenlehre der Neuzeit.

Auf die eben berührte letzte Phase in der Ausbildung des heutigen Atombegriffes fällt der Schatten der erhabenen Gestalt NEWTON's, denn die neuesten Quellenforschungen zur Genesis der DALTON'schen Atomtheorie lehren, wie DALTON als begeister-

ter Anhänger Newton's, die korpuskularen Anschauungen seines großen Landsmannes seinen eigenen physikalischen Gasstudien entgegenbrachte, um schließlich seinen originellen Atombegriff auf die Gesamtheit der chemischen Erscheinungen zu übertragen. Bald nach der Schöpfung der Dalton'schen Fundamentaltheorie setzen die Bemühungen zur Vereinfachung des Dalton'schen Atombegriffes ein, durch Auflösung des Atoms in die gleichartigen Partikeln eines Urstoffes. Diese Bemühungen stützen sich im allgemeinen auf die Analogie, welche chemische Elemente in ihrem Verhalten nach verschiedenen Richtungen hin mit jenem chemischer Verbindungen aufweisen. Sie scheitern notgedrungen nicht nur an dem Widerspruche, der zwischen der Regel von Avogadro-Ampère und der Idee von der Urmaterie klafft, auch Schwierigkeiten aus der kinetischen Theorie der Gase stellen sich ihnen in den Weg. Die Urpartikelchen würden in gleicher Anzahl das eine Mal im größeren, das andere Mal im kleineren Raume schwingen, wodurch die verschiedenen Dichten des Stoffes zustande kämen. Fassen wir jedoch zwei gleich große Volume zweier Stoffe, der Einfachheit halber seien es gasförmige, ins Auge, dann ist konsequenterweise die dichtere Masse dort zu suchen, wo die größere Anzahl der Urpartikelchen ihre Schwingungen vollführt. Zu dieser Folgerung steht nun die Regel von Avogadro-Ampère im diametralen Gegensatze, denn sie schreibt gleichen Raumteilen verschieden dichter Gase die gleiche Anzahl von Molekülen zu, ein Chlormolekül nimmt den gleichen Raum ein wie ein Wasserstoffmolekül, obwohl das erstere 35·5 mal schwerer ist als das letztere. Statuiert die Regel von Avogadro-Ampère Ungleichheiten der Masse in gleichen Raumteilen, so führt die Idee von den schwingenden Urpartikelchen zur Ungleichheit der Raumteile gleicher Massen. Rein chemische Gründe sprechen gegen einen so hoch komplizierten Bau des Moleküls, wie er sich im Lichte der Urstoffhypothese etwa beim Chlor ergäbe, dessen Molekül aus nicht weniger als 71 Teilchen im Vergleich mit dem Wasserstoffmolekül sich zusammensetzen müßte. Daran reihen sich gewichtige physikalische Gründe; so müßten die experimentell ermittelten Daten und die berechneten Werte für die Molekularwärme bei konstantem

Volumen um so weiter voneinander abweichen, je höher kompliziert der Bau des chemischen Moleküles wäre, da in dem gleichen Maße der Wärmeverbrauch zur Erzeugung intramolekularer Bewegung eine Steigerung erfahren müßte. Und das gleiche gilt für den Wert des Verhältnisses der Molekularwärmen bei konstantem Druck und bei konstantem Volumen. Einer Überführung der chemischen, der „qualitativen“ Atomistik, in eine „quantitative“ Atomistik, stellen sich somit unüberwindliche Schwierigkeiten in den Weg.

Seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts prangen die Züge rein mechanistisch-atomistischer Naturauffassung in hellem Glanze auf dem Palimpseste der Naturwissenschaft. In tönenden Worten wurde der letzteren von ihren führenden Geistern das Ziel gewiesen, sich in „Mechanik der Atome“ (Helmholtz) aufzulösen. Der Glanz dieser Züge ist seither durch die ätzende Schärfe erkenntniskritischer Studien, sowie durch das Streben nach energetischer und rein phänomenologischer Naturauffassung getrübt worden. Nichtsdestoweniger entbehrt auch noch heute der Gedanke nicht des Interesses, daß es gerade der Chemie, der „Wissenschaft von den Atomen“, beschieden ist, einen klaffenden Widerspruch in die Einheitlichkeit eines rein mechanistisch-materialistischen Naturbildes zu bringen, indem sie qualitativ verschiedene Atome als letzte Realitäten des Stoffes auffaßt. Das Dalton'sche Atom stellt einen scharf umgrenzten Typus des Stoffes dar; im Gesichtskreise der radioaktiven Forschung unserer Tage stellen ja die Atome des periodischen Gesetzes die Formen von der längsten Lebensdauer dar, die Produkte eines langen Entwicklungsprozesses, in dessen Verlaufe die physikalisch untauglichen Formen verschwunden sind. „Man kann sagen“, so läßt sich Soddy vernehmen, „daß die Theorie, welche Dalton der modernen Chemie zugrunde legte, durch die Entdeckung der Natur der unteratomigen Umwandlung eine positive Bestätigung erfahren hat.“



Namenregister.

Sachregister.

C. F. WINTER'SCHE BUCHDRUCKEREI